SCIENCES ET AVENIR
La Recherche

©SANDER MEERTINS/GETTY IMAGES - SCIENCE PHOTO LIBRARY/D.NUNUK

Médecine innovante
LES TRAITEMENTS PAR LA LUMIÈRE
p.62

MESSAGES DE L'UNIVERS LOINTAIN
p.32

Sursauts radio
Magnétoiles
Trous blancs
Extraterrestres...

L 13418 - 907 - F: 5,30 € - RD

SEPTEMBRE 2022 - N° 907 - ALLEMAGNE 7,40 € / AUTRICHE 6,50 € / ITALIE 5.70 € / LUXEMBOURG 5.70 € / GRECE 5.70 € / BELGIQUE 5.70 € / ESPAGNE 5.70 € / DOM 5.90 € / DOM-AVION 7.90 € / ANDORRE 5,40 € / PORTUGAL 5.70 € / TOM 800 XPF / ILE MAURICE : 8.60€ / TOM (AVION) 1500 XPF / SUISSE 9,50 CHF / TUNISIE 10 TND / MAROC 55 DH / CANADA-USA 8,20 $

SCIENCES ET AVENIR / LA RECHERCHE - N° 907 - SEPTEMBRE 2022 - MESSAGES DE L'UNIVERS LOINTAIN

RIVAGES
DU MONDE

Voguer. Échanger. Rêver

RCS Paris B 438 679 664 – 150 000 euros - Atout France IM 075 100 099 – Crédit AdobeStock

Croisière

PATAGONIE, USHUAÏA ET TERRE DE FEU

Du 22 mars au 5 avril 2023

Patagonie et Terre de feu, une croisière à bord d'un yacht d'expédition à la découverte d'un bout du monde où la nature s'exprime dans toute sa splendeur.

SA06

Découvrez la croisière :

RÉSERVEZ VOTRE CROISIÈRE AU 01 83 96 85 03 OU SUR WWW.RIVAGESDUMONDE.FR

Dominique Leglu
Directrice éditoriale

BERNARD MARTINEZ

Les Einstein du futur

L'été a été studieux pour nombre de scientifiques. Et pas seulement pour ceux qui se sont efforcés, derniers rapports du Giec en main, de signifier aux étourdis (au mieux) et aux climatosceptiques (il en reste) que les experts sur l'évolution du climat avaient su anticiper avec force précisions, canicules, sécheresses et feux de forêts. La marque inquiétante de ces derniers mois. Outre les climatologues, des astronomes, mathématiciens, biologistes… se sont retrouvés en juillet à Leyde, aux Pays-Bas, pour la réunion ESOF (EuroScience Open Forum), qui se déroule tous les deux ans dans une grande ville européenne. Auparavant, ce fut à Trieste (Italie), il y a quatre ans à Toulouse.

Qui sait ? Entretemps, la pandémie, les *fake news* et les « bulles informationnelles » dans lesquelles certains citoyens s'enferment, sont passées par là, insiste notre confrère britannique *New Scientist*, partenaire de la manifestation. Au point que Meta Knol et Lucien Geelhoed, les deux pilotes du programme de « Leyde, ville européenne de la science », ont tenu à choisir le titre provocateur : *Who knows*. Qui sait…

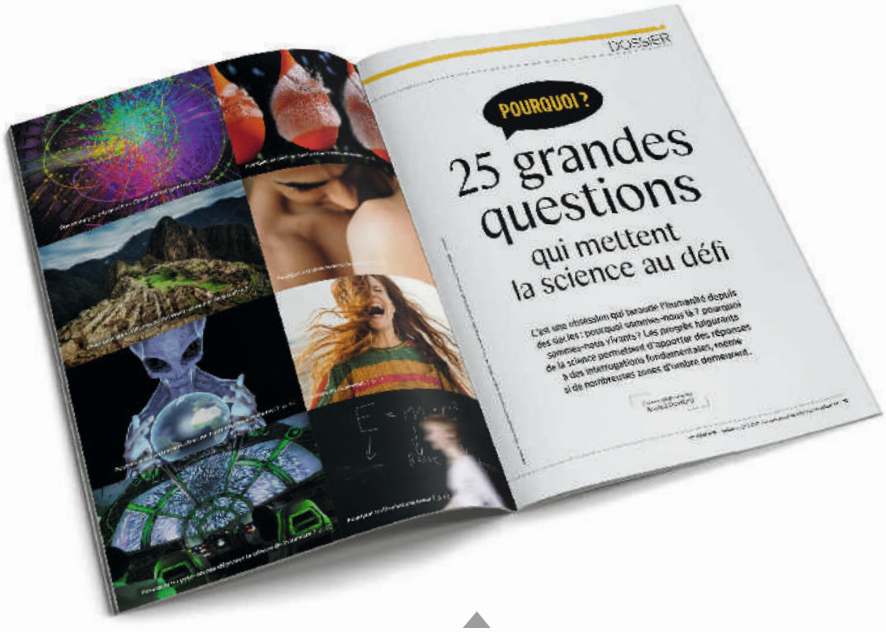
Imagination. Qui décide de ce qui est vrai? Qui sait de quoi l'avenir sera fait? L'important est de continuer à poser des questions. Ce que pratique tout(e) vrai(e) scientifique, animé(e) d'une réelle curiosité pour le monde qui nous entoure. On ne doute pas que vous, lectrices et lecteurs de *Sciences et Avenir-La Recherche*, ayez cette même passion pour la connaissance. Mais comme l'avait fait remarquer Albert Einstein, *« l'imagination est plus importante que la connaissance, car la connaissance est limitée »*.

Jeunes cerveaux. Aussi, en ce mois de septembre, Leyde mettra-t-elle à l'honneur celles et ceux doué(e)s d'une telle imagination, que Meta Knol appelle avec tendresse les *« Einstein du futur »*. Dans la ville néerlandaise à l'université de renommée internationale, doivent se retrouver les meilleurs des jeunes cerveaux (entre 14 et 24 ans) ayant participé à la compétition European Union Contest for Young Scientists, organisée dans plus de 40 pays.

Botanique artificielle. Un exemple de curiosité? Celle de trois doctorants dont l'étude intrigante a été exposée dans l'imposante église Saint-Pierre. On y voit le nid d'une foulque macroule trônant sur une belle feuille brillante. Une imitation de la plante ornementale *Strelitzia*. Fantastique plastique, écrivent les jeunes biologistes avec ironie, rappelant l'histoire selon laquelle en 1775, Marie-Antoinette se serait évanouie à la vue d'une rose artificielle… trop parfaite! Aujourd'hui, ont-ils constaté, *« pour améliorer la ressemblance avec les vraies plantes, on y incorpore des imperfections »* et de plus en plus d'oiseaux s'y laissent prendre. Au point qu'une science nouvelle en émerge, la botanique artificielle, et que l'herbier national néerlandais accueille des imitations de plantes dans ses tiroirs. ■ @dominiqueleglu

COURRIER

Courriels à : **courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr**



Pourquoi ? 25 grandes questions qui mettent la science au défi
(*Sciences et Avenir-La Recherche* n° 905-906, juillet-août 2022)

J'ai acheté *Sciences et Avenir-La Recherche* par hasard cet été et j'ai été conquis. Merci pour votre dossier « Pourquoi ? », que j'ai dévoré du début à la fin. Merci aussi pour votre article sur la reconquête de la nature sur le territoire français. Et bravo pour votre enquête sur le déchiffrement des premières écritures. La science qui explique, qui explore, qui donne espoir, c'est passionnant. J'espère que les prochains numéros seront aussi variés et documentés ! **Emmanuel Gruszа**

S. et A. : Merci à vous très cher lecteur. Toute la rédaction se mobilise chaque mois pour vous offrir le meilleur de l'actualité scientifique avec la plus grande rigueur et les éclairages de ceux qui la font. Vos encouragements nous vont droit au cœur, et pensez à vous abonner pour ne rater aucun numéro !

Force de gravitation

Lectrice assidue de votre magazine et de votre dossier sur les *« Pourquoi ? »*, je souhaite vous faire part d'une incompréhension qui me tarabuste. Je pense avoir à peu près assimilé la notion d'espace-temps déformé par tout corps : *« Tout corps passant à proximité de la Terre sera attiré par elle mais pas sous l'effet d'une force agissant à distance comme le décrivait Isaac Newton » (p. 40)*. Alors pourquoi continue-t-on de parler de la force de gravitation, voire d'une particule hypothétique, le graviton, qui serait responsable de cette force ? Et pas seulement dans votre magazine ! *« Selon la loi de la gravitation universelle d'Isaac Newton, deux particules matérielles sont attirées l'une vers l'autre par une force dont l'intensité est proportionnelle à leur masse et inversement proportionnelle au carré de leur distance » (p. 48)*.

Catherine Laugel de Lignerolles

S. et A. : En réalité, si l'on continue d'utiliser la force de gravitation de Newton, c'est parce que la formule ($F = mMG/r^2$) fonctionne très bien pour décrire par exemple le mouvement de la Terre autour du Soleil. C'est l'interprétation physique que l'on en fait qui est aujourd'hui caduque. Il n'y a pas de « force » s'exerçant comme par magie, à distance, sans lien physique entre deux corps. D'ailleurs, Newton lui-même reconnaissait que c'était étrange. La « bonne » interprétation physique (jusqu'à preuve du contraire) est celle d'Albert Einstein, une modification de la géométrie de l'espace-temps sous l'effet d'une masse ou de l'énergie. Par ailleurs, les équations d'Einstein permettent de calculer des trajectoires dans des configurations inaccessibles aux équations de Newton. Par exemple, pour des objets allant à des vitesses proches de celle de la lumière.

Champignons mortels

Dans le numéro de juillet-août, page 16, dans le court article consacré à la toxine commune des champignons mortels, vous dites que ces derniers génèrent tous (*a priori* sans exception) la même toxine, qu'un ensemble de quatre gènes est responsable de la production de cette toxine, et donc que tous les champignons mortels abritent ces mêmes quatre gènes dans leur ADN. Vous concluez ensuite que tous ces champignons ont un ancêtre commun. Est-ce votre conclusion ou celle de l'étude ? Pourquoi des mutations (et donc l'apparition de nouveaux gènes) ne pourraient-elles pas se produire spontanément plusieurs fois au cours de l'évolution, que ce soit dans l'espace (plusieurs régions) ou dans le temps (plusieurs périodes de l'histoire) ?

Michaël Zanon

S. et A. : Dans l'exemple des champignons, ce sont les analyses génétiques qui ont permis de conclure que les toxines n'étaient pas héritées d'un ancêtre commun. Ces trois champignons produisaient en effet la même toxine, l'amanitine, à l'aide des mêmes quatre gènes, alors qu'ils sont issus de trois familles de champignons très différentes, et dont les autres membres ne possèdent pas l'amanitine (ce qui serait le cas s'il y avait eu un ancêtre commun). Il ne s'agit même pas de convergence évolutive mais de « transfert horizontal ». C'est la capacité de certains organismes, comme les bactéries, de transférer physiquement son matériel génétique à une autre cellule, qui pourra l'intégrer dans son propre génome. En l'occurrence, un quatrième champignon encore non identifié aurait transféré les gènes de l'amanitine aux trois espèces étudiées, tout simplement parce qu'elles vivaient à proximité sur le sol forestier. Comme la production d'amanitine permettait d'éviter à ces quatre d'être consommés par des prédateurs, rongeurs ou insectes, elle a finalement été adoptée par toutes les espèces toxiques au fil des générations. C'est un mécanisme d'évolution plus opportuniste que la convergence évolutive, qui suppose souvent que des espèces différentes mais soumises à des contraintes similaires fortes (nager, respirer dans l'eau, par exemple) ont été forcées de sélectionner des traits similaires pour mieux survivre.

BERNARD MARTINEZ

ÉDITO

Mathieu Nowak
Rédacteur en chef

À l'écoute de l'inconnu

Mi-juin, l'annonce fit grand bruit. Un article paru dans le journal du ministère chinois des Sciences rapportait la détection de « *possibles traces technologiques et de civilisations extraterrestres* ». L'information n'a cependant pas été confirmée par la suite. Le rapport des astronomes de l'université de Pékin a même rapidement disparu de la toile. Les annonces de ce type se produisent régulièrement. L'une des plus célèbres est celle de l'énigmatique signal « Wow » en 1977. En analysant les données recueillies par le radiotélescope de l'université d'État de l'Ohio, aux États-Unis, l'astronome Jerry Ehman découvre un signal étrange d'une durée de 72 secondes. Sur le relevé, il écrit à la main un « Wow! » devenu célèbre. Un temps évoquée, l'hypothèse extraterrestre est aujourd'hui largement délaissée au profit du passage d'une comète, même si l'explication définitive reste à apporter.

D'autres signaux étranges ont en revanche fini par livrer leurs mystères et révélé de nouvelles classes d'objets célestes. C'est l'exemple des pulsars, des étoiles à neutrons en rotation rapide, qui émettent un signal par périodes de 1,3 seconde exactement. De leur première attribution à une intelligence extraterrestre subsiste leur très officielle dénomination : LGM pour « little green man » (« petit homme vert ») suivi d'un numéro *(p. 42)*.

> « Des signaux mystérieux venus de l'Univers lointain, incroyablement puissants, intriguent aujourd'hui les astronomes »

Des signaux mystérieux venus de l'Univers lointain, les plus puissants radiotélescopes terrestres continuent à en enregistrer tous les jours. Ceux qui intriguent aujourd'hui le plus les astronomes sont les « sursauts radio rapides », mieux connus sous leur sigle anglais, les FRB (pour « fast radio bursts »).

Des impulsions qui jaillissent de façon imprévisible, durent à peine une milliseconde mais sont incroyablement puissantes : à leur source, c'est davantage d'énergie émise que n'en relâche une étoile massive en fin de vie *(p. 34)* ! Mais qui les envoie? C'est la passionnante enquête que nous avons menée ce mois-ci. Toujours en cours, elle a déjà permis de découvrir des astres jusqu'alors inconnus.

Quant aux zones d'ombre, elles demeurent nombreuses. Aussi intrigantes que stimulantes pour poursuivre les recherches. Sans jamais écarter aucune hypothèse. ■ @ mathieu_nowak

SCIENCES ET AVENIR La Recherche

SERVICE ABONNEMENT
et anciens numéros
Tél. : 01.55.56.71.48
Sciences et Avenir 45, avenue du Général-Leclerc 60643 Chantilly cedex
abonnements@sciencesetavenir.fr

Tarif des abonnements : France, 1 an simple (12 numéros dont un double) : 35 € 1 an complet (12 numéros dont un double + 4 hors-séries) : 48 €. Étranger : nous consulter.
Abonnements Belgique : Edigroup : tél. 00.32.70.233. 304
Abonnements Suisse : Edigroup : tél. 00.41.22.860.84.01

Pour joindre la rédaction :
41 bis, avenue Bosquet 75007 Paris
Tél. : 01.55.35.56.01.
E-mail : redaction@sciencesetavenir.fr
Site Internet : sciencesetavenir.fr

Directrice éditoriale Dominique LEGLU - 01.55.35.56.02
Directrice de la rédaction Carole CHATELAIN - 01.55.35.56.57
assistée de Valérie PELLETIER - 01.55.35.56.01
Rédacteurs en chef Mathieu NOWAK (mensuel) - 01.55.35.56.38
Philippe PAJOT (La Recherche) - 01.70.98.19.29
Vincent REA (hors-série) - 01.55.35.56.35
avec Florence LEROY - 01. 55.35.56.36
Olivier LASCAR (digital) - 01.55.35.56.15
Adjoint à la rédaction en chef
Laurent PERICONE (édition) - 01.55.35.56.10
Rédacteur(trice)s en chef adjoint(e)s
Vincent GLAVIEUX (La Recherche) - 01.70.98.19.32
Andreina DE BEI (photo) - 01.55.35.56.31
Lise LOUMÉ (digital) - 01.55.35.56.39
Directeur(trice)s artistiques
Dominique PASQUET (couverture) - 01.55.35.56.59
Jean-Louis GILABERT - 01.55.35.56.28
Thalia STANLEY (adjointe) - 01.55.35.56.21
Secrétaire générale de la rédaction
Véronique MESSAGER - 01.55.35.56.18
Conseillère auprès de la direction de la rédaction
Rachel MULOT (cheffe de service enquêtes) - 01.55.35.56.07
Chef de service Fabrice NICOT (fondamental) - 01.55.35.56.46
Chef de service adjoint Hervé RATEL (actualités) - 01.55.35.56.45
Chef(fe)s de rubrique
Mathias GERMAIN (biologie, médecine, santé) - 01.70.98.19.33
Sylvie RIOU-MILLIOT (médecine, santé) - 01.55.35.56.54
Hugo JALINIÈRE (actualités, médecine) - 01.55.35.56.52
Rédaction Bernadette ARNAUD (archéologie, histoire) - 01.55.35.56.44 - Franck DANINOS (fondamental) - 01.55.35.56.78
Arnaud DEVILLARD (numérique, expositions) - 01.55.35.56.27
Sylvie ROUAT (grand reporteure, espace, océanologie) - 01.55.35.56.40
Collaborateurs(trices) Sylvie BOISTARD, Loïc CHAUVEAU, Johan KIEKEN
Chroniqueurs Christophe CASSOU, Jean-Gabriel GANASCIA, Céline GUIVARCH, CLAIRE MATHIEU
Ont participé à ce numéro P. BERLOQUIN, A. CARRÉ, N. GUTIERREZ C., P. KALDY, E. LECOMTE, C. MAUGER, M. PARRA, E. PROUST, A. SABOUHI, S. VANEL
Secrétaire de rédaction
Sandrine HAGÈGE - 01.55.35.56.17
Maquette Horia BAHRI - 01.55.35.56.19
Photo-iconographie Isabelle TIRANT - 01.55.35.56.32
Claire BALLADUR - 01.70.98.19.41
Pôle digital Marine BENOIT (fondamental, archéologie) - 01.55.35.56.23 - Valentin COLLIAT-DANGUS (community manager) - 01.55.35.56.70 - Camille GAUBERT (santé) - 01.55.35.56.24 - Joël IGNASSE (espace, paléontologie) - 01.55.35.56.15 - Coralie LEMKE (santé) - 01.55.35.56.56
Anne-Sophie TASSART (cheffe de rubrique) - 01.55.35.56.41
Clémence BAUDOIN - responsable projets digitaux
Jessica RIOS - cheffe de projet digital
Documentation Isabelle DO O'GOMES (cheffe de service) - 01.55.35.56.49 - Astrid SAINT AUGUSTE - 01.55.35.56.48
Courrier des lecteurs
Sara DE LACERDA - courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr
Informatique Daniel DE LA REBERDIÈRE - 01.55.35.56.06
Directeur général Philippe MENAT
Responsable administrative et financière Jaye REIG - jreig@challenges.fr
Comptabilité - compta@challenges.fr
Responsable ressources humaines
Sandrine MARTIN - smartin@challenges.fr
Fabrication Christophe PERRUSSON
Publicité MediaObs. 44, rue Notre-Dame-des-Victoires 75002 Paris Tél. : 01.44.88.97.70. Fax : 01.44.88.97.79.
Courriel : l'initiale du prénom puis nom suivi de @mediaobs.com
Directrice générale Corinne ROUGÉ - 01.44.88.93.70 - assistée de Marie-Noëlle MAGGI - 01.44.88.93.70
Directeur délégué Philippe LÉONARD - 01.44.88.89.18
Directeur de publicité Emmanuel LALA - 01.44.88.89.28
Exécution : Cédric AUBRY - 01.44.88.89.05
Administration des ventes Catherine FERNANDES - 01.44.88.89.20
Directeur commercial Valéry SOURIEAU
Directeur des abonnements Luc BONARDI
Responsable des abonnements Lina QUACH - 01.55.35.56.63
Sciences et Avenir SAS
Président, Directeur de la publication : Claude PERDRIEL
Secrétaire général Jean-Claude ROSSIGNOL
Multimédia Sciences et Avenir, 41 bis, avenue Bosquet, 75007 Paris. - Tél. : 01.55.35.56.00

Origine du papier : Allemagne - Taux de fibres recyclées : 0 %
Eutrophisation : PTot = 0,014 kg/tonne de papier
Ce magazine est imprimé chez Roto France (Lognes), certifié PEFC

Certifié PEFC
Ce produit est issu de forêts gérées durablement et de sources contrôlées
PEFC
10-31-1557
pefc-france.org

FR

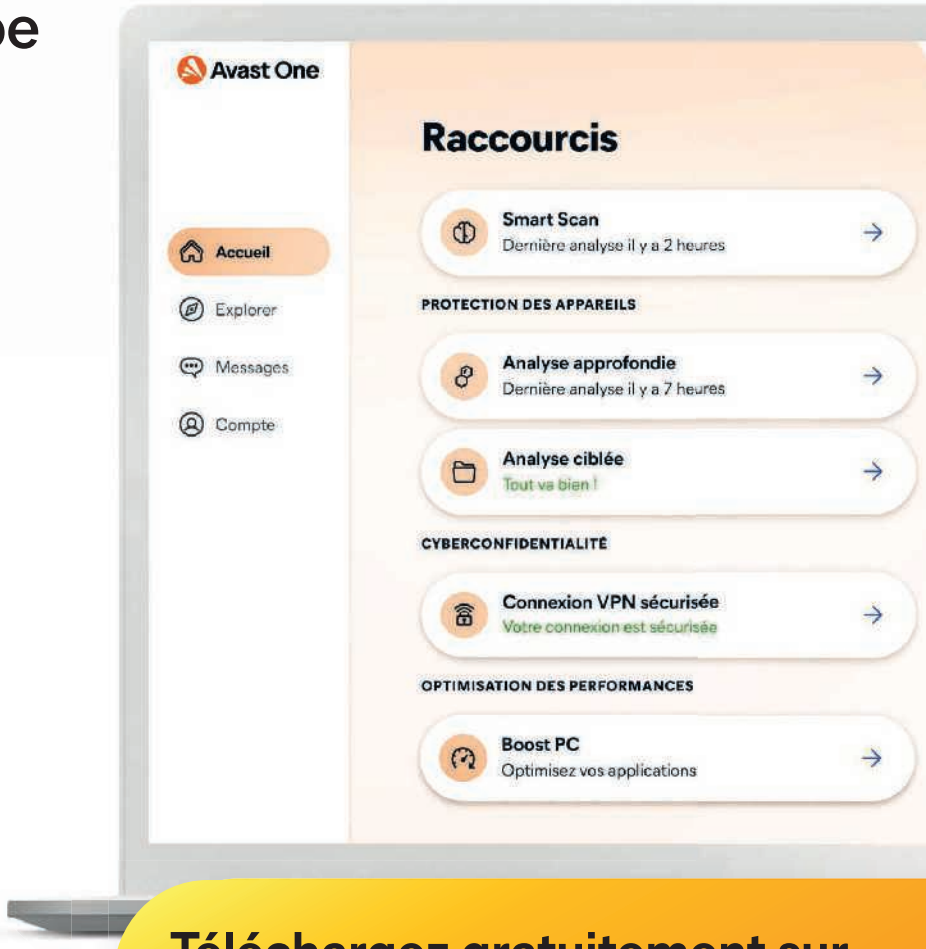
ACPM DIFFUSION

Les noms et adresses de nos abonnés seront communiqués aux organismes liés contractuellement avec *Sciences et Avenir*, sauf opposition. Dans ce cas, la communication sera limitée au service de l'abonnement. Ce numéro comporte un encart « Montre Chronographe Vuillemin Regnier - Sophia Boutique » sur toute la diffusion abonnés ; un message « Challenges » et une lettre de « bienvenue aux abonnés » jetés sur couverture sur une partie de la diffusion abonnés. Commission paritaire n° 0625 K 79712. ISSN 00368636. Distribué par MLP.

Bien plus qu'un simple antivirus

Avast One regroupe protection, confidentialité et performances.

- Bloquez virus, malwares, logiciels espions et ransomwares
- Sécurisez vos achats et transactions bancaires sur Internet
- Recevez une alerte en cas de piratage de vos comptes web
- Protégez-vous des attaques par phishing et des sites d'arnaques
- Sécurisez votre connexion et protégez votre argent avec un VPN
- Dissimulez votre position géographique
- Masquez votre adresse IP pour une confidentialité 24h/24 et 7j/7
- Accélérez, nettoyez et optimisez vos appareils



Téléchargez gratuitement sur avast.com/sciences

N'oubliez pas de protéger votre smartphone.
Téléchargez gratuitement Avast One sur mobile

presse citron
Meilleur antivirus
★★★★★

01NET
Suite hyper complète
★★★★

PC EDITORS' CHOICE
Choix de la rédaction
★★★★½

Avast One

© 2022 Copyright Avast Software

SOMMAIRE

Sciences et Avenir - La Recherche / N° 907 / Septembre 2022

DOSSIER P. 32

Les mystérieux signaux venus de l'Univers

D'étranges flashs nous parviennent depuis les profondeurs du cosmos. Certains jaillissent dans le domaine radio, d'autres dans celui du visible. Sont-ils émis par des astres inconnus ou signalent-ils une présence extraterrestre ? Les astronomes mènent l'enquête.

P. 44

Web3 : enquête sur l'Internet du futur

Métavers, infrastructure décentralisée ou bien espace fracturé..., l'avenir d'Internet pourrait prendre diverses formes. Plongée dans le futur virtuel.

P. 62

Soigner par la lumière : une nouvelle médecine

Les bienfaits de la lumière sur la santé se déclinent dans des technologies multiples. La neuro-illumination permettrait même de ralentir la progression de la maladie de Parkinson.

P. 76

Le musée de Rio va renaître de ses cendres

Un appel à une aide internationale a été lancé par le directeur de cette institution culturelle détruite par un incendie en 2018 et dont la rénovation est en cours.

3 **Éditorial** par Dominique Leglu

4 **Courrier**

5 **Édito** par Mathieu Nowak

ÉVÉNEMENT

8 **Yves Coppens : l'élégance scientifique en héritage**

SCIENCES FONDAMENTALES

12 **ACTUALITÉS** James-Webb : les premières images d'une nouvelle ère / Voici d'où vient la météorite martienne Black Beauty

44 **Web3 : enquête sur l'Internet du futur**

NATURE

18 **ACTUALITÉS** La « pollinisation » existe dans l'eau / Les coraux chimères au secours des récifs

52 **Le retour du chat sauvage**

57 **Un humanoïde dans les abysses**

60 **Les algues, une « révolution civilisationnelle »**

SANTÉ

22 **ACTUALITÉS** Soupçons de fraudes dans la recherche sur Alzheimer / Des corps de porcs « ressuscités »

62 **Soigner par la lumière : une nouvelle médecine**

70 **L'impossible quête du sang artificiel**

74 **Nutrition : les fruits, ces délicieux alliés de notre santé**

84 **Dossier spécial audition**

HISTOIRE

28 **ACTUALITÉS** Un bébé mammouth incroyablement conservé / « Madame Ples », la cousine sud-africaine de Lucy

76 **Le musée de Rio va renaître de ses cendres**

82 **Entretien avec Barbara Huber,** archéologue à l'Institut Max-Planck de la science de l'histoire humaine

TRANSVERSALES

88 **Sélection livres**

92 **Expositions**

93 **Le ciel de septembre**

94 **Chroniques**
Climat par Christophe Cassou et Céline Guivarch et / Mathématiques par Claire Mathieu / Éthique par Jean-Gabriel Ganascia / L'œil d'Olivier Lascar

96 **Questions de lecteurs**

97 **Jeux**

SANDER MEERTINS/GETTY IMAGES/D. NUNUK/ SPL/ SUCRÉ SALÉ - ALE + ALE POUR SCIENCES ET AVENIR - FRANÇOIS GUENET/DIVERGENCE - RICARDO MORAES/ REUTERS

Yves Coppens

L'élégance scientifique en héritage

Yves Coppens est décédé le 22 juin. Chasseur d'os et d'idées, le chercheur a marqué son époque par son esprit de synthèse, son ouverture, comme par sa bienveillance dans un milieu, la paléoanthropologie, traversé par de vives rivalités. Témoignages.

Par Rachel Mulot @RachelFleaux

Avec la découverte du régime locomoteur de Lucy l'australopithèque et la formulation de l'*East Side Story*, qui théorise l'apparition des premiers préhumains bipèdes à l'est de l'Afrique, Yves Coppens a indubitablement écrit une belle page de l'histoire des sciences. Mais lorsqu'on l'évoque avec ses pairs, il semble que l'empreinte que laissera sa générosité soit plus profonde encore. « *C'était une personne d'une grande humanité et d'une merveilleuse élégance, dans la vie comme en science,* témoigne ainsi Brigitte Senut, paléontologue, professeure au Muséum national d'histoire naturelle (MNHN), à Paris. *Il a mis le pied à l'étrier à de très nombreux chercheurs, et encouragé les vocations des chercheuses également, ce qui n'était pas fréquent dans les années 1970.* » « *Au-delà du savant et du personnage médiatique que tout le monde connaît, nous perdons un être plein d'humour qui faisait véritablement rayonner sa joie de vivre autour de lui. Il aimait les gens et les gens l'aimaient,* renchérit Jean-Jacques Hublin, paléoanthropologue qui lui a succédé au Collège de France. *Surtout, il a toujours fait preuve d'une très grande générosité, dans un milieu qui ne l'est que rarement.* »

La paléoanthropologie est en effet traversée par de sérieuses rivalités. « *Les terrains fossiles dont les âges sont proches de ceux de l'origine de l'humain sont rares et aussi convoités que les mines d'or, sinon plus* », reconnaissait Yves Coppens. En 2000, après la découverte au Kenya d'*Orrorin tugenensis*, un bipède fossile de -6 millions d'années, par une équipe franco-kényane dirigée par Brigitte Senut, du MNHN, et Martin Pickford, du Collège de France, les

ERIC GARAULT / PASCO & CO - ROCHE PATRICK/SIPA - YVES COPPENS - COLLECTION PERSONNELLE - KENNIS & KENNIS MOESGAARD

Grande figure de la paléontologie française et internationale, Yves Coppens était estimé du grand public comme de ses pairs.

BIO EXPRESS

1934 Naissance à Vannes.

1953 Découverte de la chambre sépulcrale d'un dolmen inviolée depuis 7000 ans, sur l'île de Carn (Finistère).

1956 Entrée au CNRS et au Muséum national d'histoire naturelle.

1960 Première mission au Tchad, qui livrera le crâne de *Tchadanthropus uxoris*, un hominidé inconnu.

1969 Entrée au musée de l'Homme comme sous-directeur du laboratoire d'anthropologie et d'ethnologie.

1974 Découverte de Lucy (*Australopithecus afarensis*, 3 millions d'années), dans l'Afar (Éthiopie) par l'International Afar Research Expedition (IARE) fondée avec un Français et deux Américains.

2003 Rédaction de la Charte de l'environnement, adossée à la Constitution française.

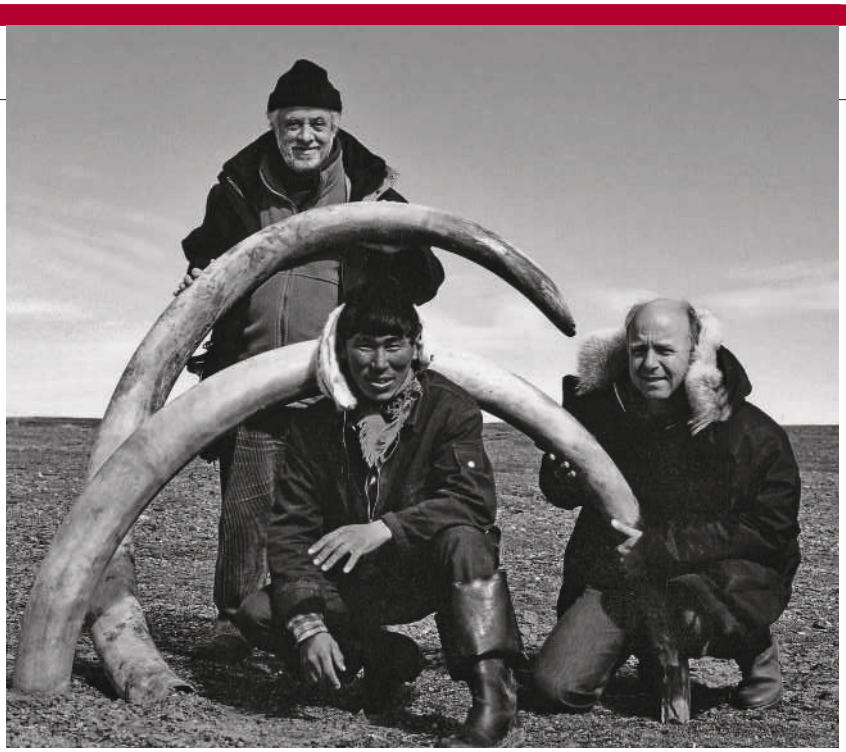
2018 Publication de ses mémoires *Origines de l'homme, origines d'un homme* (Odile Jacob).

22 juin 2022 Décès à Paris.

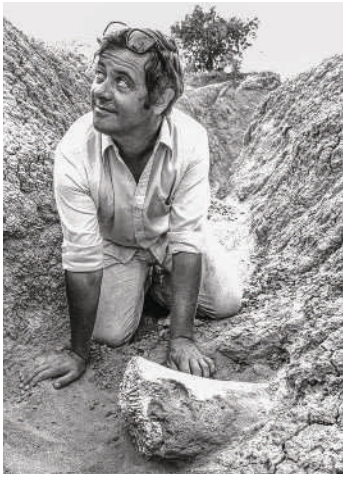
deux fouilleurs s'étaient ainsi vu reprocher d'avoir mené leurs recherches sur un terrain considéré comme la chasse gardée de la puissante famille Leakey, dynastie de paléontologues mondialement connue. Yves Coppens, qui avait soutenu l'expédition, avait calmé le feu, avec discrétion. *« C'est un monde rude que celui de la paléoanthropologie, les sentiments nationalistes peuvent s'en mêler, je l'ai vu en Afrique comme en Asie,* expliquait-il. *Dans certains cas, graves, j'ai vu des coups fourrés et de la surenchère ! Être celui qui trouve l'ancêtre de l'humain, c'est extraordinaire sur le plan de la renommée, de la réputation, de l'argent, de la gloire. Cela peut faire tourner bien des têtes, gonfler des* ego. » Lui n'avait eu aucune hésitation à expliquer sitôt après la découverte de Lucy l'australopithèque, en 1974, que cette dernière, qui se tenait debout mais grimpait encore aux arbres, ne devait être au plus qu'une arrière-cousine, à la grande contrariété des codécouvreurs américains.

Il soutient celui qui bouscule sa théorie de l'« East Side Story »

Yves Coppens fera également preuve d'élégance lorsqu'il abandonnera promptement sa théorie de l'*East Side Story* après la découverte au Tchad de Toumaï, possible ancêtre de l'humain. *« C'est ainsi que la science avance : quelques ossements peuvent ficher par terre tout un échafaudage de réflexions »*, estimait-il avec philosophie peu après la publication du fossile dans *Nature*, en janvier 2001. Pourtant, certains ne considèrent pas ce crâne vieux de 7 millions d'années comme celui de notre ancêtre, mais plutôt comme celui des gorilles. Ce qui laisserait intacte l'idée selon laquelle les préhumains sont nés à l'est du Rift africain, dans un environnement de savane asséché, tandis que les ancêtres de nos cousins grands singes se déployaient dans des milieux forestiers alors humides. Mais Yves Coppens refuse de s'accrocher : l'heure de gloire est celle de son vieux complice, le



YVES COPPENS - COLLECTION PERSONNELLE



G.GERSTER/GAMMA-RAPHO

SYLVAIN ENTRESSANGLE, RECONSTITUTION ELISABETH DAYNES / LOOKAT SCIENCES

JEAN-PIERRE COUDERC / ROGER-VIOLLET

En haut : en 1999, Yves Coppens (debout) part en Sibérie expertiser les défenses de mammouth découvertes par le nomade Kostia Jarkov.
Au centre : à gauche, en 1972, devant un tibia d'éléphant de 3,5 millions d'années trouvé dans la vallée de l'Omo (Éthiopie) ; à droite, avec deux « Homo sapiens » reconstitués.
Ci-contre : en 1983, l'année où il obtient la chaire de paléoanthropologie et préhistoire au Collège de France.

paléontologue Michel Brunet qu'il avait envoyé fouiller à l'Ouest pour trouver — au départ — de quoi justifier sa théorie. Jamais il ne démentira son soutien à celui qui a fait chuter l'*East Side Story,* même lorsque Michel Brunet est critiqué faute d'avoir jamais publié d'étude sur le fémur de Toumaï qui prouverait que ce dernier est bipède.

Un ardent défenseur du musée de l'Homme

C'est aussi avec bonne grâce qu'il se lance dans le projet de renouveau du musée de l'Homme, une fois patent que l'établissement perdra une bonne partie de ses collections d'ethnologie historiques au profit du musée du Quai-Branly-Jacques-Chirac. *« Il l'a défendu avec enthousiasme et détermination auprès des nombreuses personnalités auxquelles il avait accès »*, estime la généticienne Évelyne Heyer. Il se sentait plus utile de la sorte. Yves Coppens n'était pas homme à s'épuiser dans des combats inutiles, préférant évoluer en gardant l'esprit ouvert et curieux. Déplorant les esprits de chapelle ou les théories dominantes qui étouffent les débats et la créativité, il n'hésitait pas non plus à s'intéresser publiquement à des projets étonnants. Comme les recherches sur l'Almasty, le *« yéti du Caucase »*, de l'*Homo pongoïdes* ou du bar-manu d'Asie centrale, autres humains sauvages. Les férus de cryptozoologie lui en sont toujours reconnaissants. Il s'est joint aussi à l'une des expéditions de Bernard Buigues qui a mis au jour des mammouths congelés dans le pergélisol de Sibérie depuis des millénaires. Radical, le paléoanthropologue ne voyait aucun problème éthique à ce que des scientifiques tentent de ressusciter un jour certains de ces proboscidiens laineux préhistoriques. Très scientiste, il estimait par ailleurs que les humains parviendraient à régler les problèmes climatiques ou à anticiper la destruction de la Terre grâce à leurs technologies. *« Ce point est très disputé »*, reconnaissait, à la fin de sa vie, celui qui avait présidé à la naissance de la charte de l'environnement en 2003, un peu dépité peut-être de ne pas parvenir à insuffler davantage de l'optimisme inébranlable et de la foi en l'humanité qui l'habitaient. Une question de génération ? Il aura tout de même tracé la voie à une pléthore de jeunes chercheurs, en inscrivant sa vision de l'évolution humaine dans une perspective fondamentalement environnementale. *« Sa présence, toujours réconfortante, était le gage d'échanges scientifiques de haut niveau,* conclut Stéphanie Thiébault, qui a dirigé l'Institut écologie et environnement (Inee) du CNRS entre 2013 et 2021. *Jusqu'au bout, il est resté accueillant et disponible pour alimenter les débats et fournir bien souvent de nouvelles idées.* » ■

Retrouvez l'épopée d'Yves Coppens dans notre numéro spécial Sciences et Avenir - La Recherche

Yves Coppens
1934 - 2022

3,90 €
En vente en kiosque ou par correspondance en appelant le 01.55.56.71.48

La nébuleuse de la Carène, vaste pouponnière d'étoiles de la Voie lactée, saisie par le nouveau télescope.

NASA, ESA, CSA, AND STSCI

James-Webb : les premières images d'une nouvelle ère

Installé à 1,5 million de kilomètres de la Terre, le télescope spatial a livré ses premiers clichés. D'une extraordinaire qualité, ils mettent déjà le monde de l'astrophysique en ébullition.

Le 12 juillet 2022 restera comme un Noël avant l'heure pour les astrophysiciens du monde entier. Ce jour-là, les agences spatiales américaine (Nasa), européenne (ESA) et canadienne (ASC) ont diffusé les cinq premières images prises par le télescope spatial James-Webb (JWST) depuis le point de Lagrange L2, son poste d'observation situé à environ 1,5 million de kilomètres de la Terre. Pouponnières d'étoiles, « champ profond » contenant des milliers de galaxies, ou encore étoile moribonde: chaque cliché a permis de démontrer les performances remarquables du télescope. *« Tous les instruments fonctionnent au mieux de ce que l'on pouvait espérer »*, résume Pierre-Olivier Lagage, astrophysicien au CEA (Saclay, Essonne), et coresponsable de l'instrument MIRI (Mid-InfraRed Instrument). Ce spécialiste de l'atmosphère des exoplanètes a été particulièrement sensible au spectre dans l'infrarouge de la géante gazeuse WASP-96b. Il révèle la présence de vapeur d'eau dans l'atmosphère surchauffée à plus de 1000 °C de la planète. Obtenir ce spectre n'a demandé au James-Webb que quelques heures… *« C'est extraordinairement rapide ! Avec Spitzer* [télescope spatial spécialisé dans l'infrarouge désormais hors service] *ou Hubble, il fallait "gratter et gratter" pour trouver un signal parmi les données. Tandis que là, sans*

NASA, ESA, CSA, AND STSCI

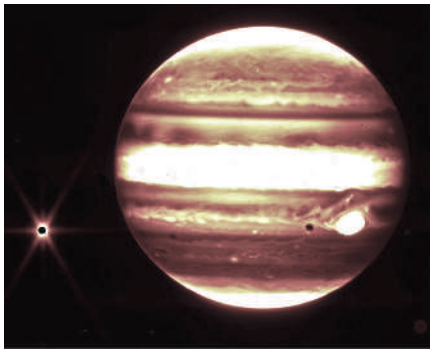
La vue la plus profonde de l'Univers

COSMOLOGIE **Cette image est la plus nette et la plus profonde de l'Univers lointain jamais réalisée. Il s'agit de l'amas galactique SMACS 0723, à 4,6 milliards d'années-lumière. On y distingue aussi des galaxies situées derrière l'amas, dont l'image est agrandie et déformée par l'attraction gravitationnelle. Sur le ciel, la taille de ce champ correspond à un grain de sable tenu à bout de bras. C'est une infime partie de l'Univers.**

effort, on voit le transit [passage de la planète devant son étoile] *à un niveau très détaillé. Cela démontre à quel point le télescope est stable.* » Le champ profond a suscité d'emblée beaucoup d'espoir parmi les spécialistes de la formation des galaxies. *« Dans l'équipe, nous ne savons plus où donner de la tête,* confirme Hakim Atek, chercheur à l'Institut d'astrophysique de Paris (IAP). *Avec cette seule image j'ai une dizaine de projets d'étude en vue.* » Et de fait, plusieurs équipes annoncent déjà des résultats. Le groupe « Origine et évolution des galaxies » de l'IAP pense ainsi avoir repéré *« une galaxie à seulement 250 millions d'années après le Big Bang »*. Si ce résultat était confirmé, ce serait 150 millions d'années de moins que Gn-z11, la plus jeune connue à ce jour. ■ **F. N.**

L'œil braqué sur Jupiter

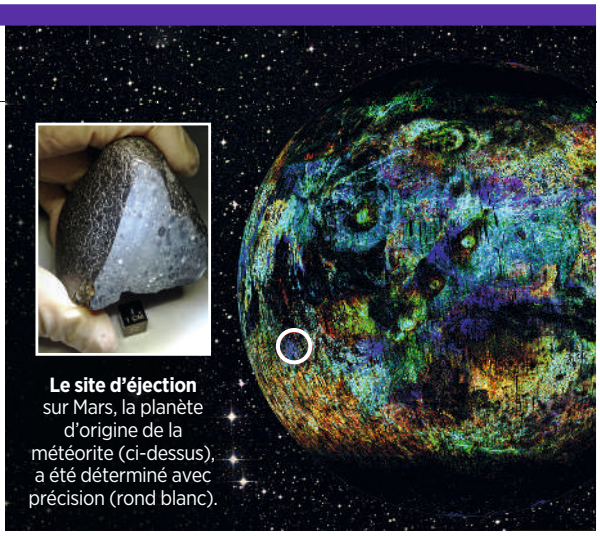
PLANÉTOLOGIE L'extraordinaire résolution du JWST a aussi été testée sur une proche voisine de la Terre. Jupiter se dévoile ici avec sa lune Europe (à gauche sur l'image) dont on perçoit même l'ombre projetée à côté de la Grande Tache rouge apparaissant comme un halo lumineux dans l'hémisphère sud. Preuve que le télescope est tout aussi efficace pour scruter l'espace profond que pour révéler des phénomènes plus proches dans le Système solaire.



NASA, ESA, CSA, AND B. HOLLER, J. STANSBERRY (STSCI)

Voici d'où vient la météorite martienne Black Beauty

Un algorithme a comparé les propriétés géologiques de plus de 90 millions de cratères d'impact sur Mars avec celles de la météorite.



Le site d'éjection sur Mars, la planète d'origine de la météorite (ci-dessus), a été déterminé avec précision (rond blanc).

NASA - LAGAIN ET AL

Pour la première fois, des scientifiques sont parvenus à retrouver l'origine précise d'une météorite. Récolté en Afrique du Nord en 2011, ce morceau de roche martienne de 320 g connu sous le nom de Black Beauty (NWA 7034) comprend les fragments de Mars les plus anciens datés à ce jour (-4,48 milliards d'années). Pour découvrir son site d'éjection, l'équipe internationale pilotée par l'université australienne Curtin a utilisé un algorithme d'intelligence artificielle et le superordinateur du Pawsey Supercomputing Centre à Perth, cartographiant plus de 90 millions de cratères d'impact en moins de 24 heures. En comparant leurs propriétés géologiques avec les caractéristiques géochimiques de la météorite, les chercheurs ont localisé le cratère Karratha d'où a été expulsée Black Beauty il y a 5 à 10 millions d'années. **H. J.**

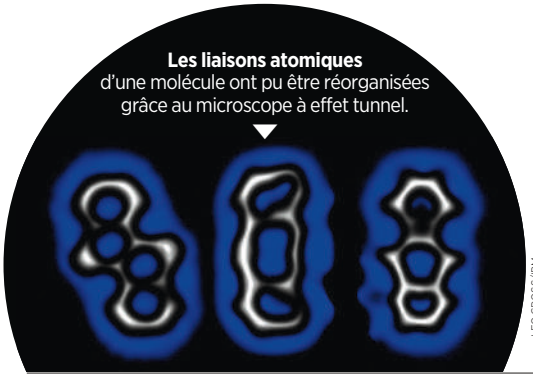
EN DEUX MOTS

DRONES Le gouvernement britannique a autorisé la start-up Altitude Angel à établir un couloir aérien de 264 km où les drones pourront s'insérer de façon sécurisée grâce à des technologies interopérables. **ESPACE** Des astronomes ont détecté des molécules d'alcool isopropylique, utilisé comme solvant sur Terre, près du centre de la Voie lactée. **MATHÉMATIQUES** Des chercheurs de Google ont développé une IA qui traduit les problèmes mathématiques en langage informatique pour aider à leur résolution par d'autres algorithmes.

Des atomes bousculés par un microscope

CHIMIE Première mondiale : des chimistes sont parvenus à réorganiser les liaisons atomiques dans des molécules isolées. En utilisant la pointe d'un microscope à effet tunnel pour appliquer différentes impulsions de tension, l'équipe a montré qu'elle pouvait réorganiser les liaisons chimiques de manière sélective. Une percée majeure pour le développement de « machines moléculaires » aux fonctions spécifiques. **H. J.**

SOURCE : FLORIAN ALBRECHT, IBM RESEARCH EUROPE, SUISSE.



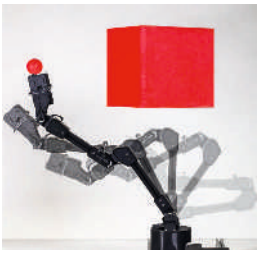
Les liaisons atomiques d'une molécule ont pu être réorganisées grâce au microscope à effet tunnel.

LEO GROSS/IBM

1,6 milliard de teslas

Le plus puissant champ magnétique enregistré dans l'Univers

ASTROPHYSIQUE Le record enregistré par une équipe chinoise provient de ce que l'on appelle un magnétar ultralumineux à rayons X — plus précisément de l'étoile à neutrons Swift J0243.6+6124, qui en cannibalise une autre avec laquelle elle forme un tandem. Il bat ainsi de 600 millions de teslas le précédent record, attribué en 2020 au pulsar GRO J1008-57, et équivaut à un million de milliards de fois le champ magnétique de la Terre. **M. B.**



J. NISSELSON ET Y. QIN / COLUMBIA ENGINEERING

Le bras articulé a appris à avoir une vision de lui-même lorsqu'il exécute un mouvement.

Un robot piloté par lui-même

TECHNOLOGIE Un bras articulé a été entraîné à l'aide de la vision par ordinateur à savoir quelle posture chacun de ses mouvements lui faisait adopter dans l'espace. Il peut ensuite générer pour lui-même une modélisation de sa propre morphologie, lui permettant d'anticiper les conséquences de ses actions, pour notamment éviter des collisions. **A. D.**

SOURCE : BOYUAN CHEN, UNIVERSITÉ COLUMBIA, NEW YORK, ÉTATS-UNIS.

Allianz

Une belle retraite, c'est aussi de nouveaux horizons

En ouvrant dès aujourd'hui votre Plan d'Épargne Retraite avec Allianz, vous préparez votre retraite avec un partenaire de confiance.
Première marque mondiale d'assurance*, Allianz vous accompagne dans la préparation de votre retraite pour vous permettre de la vivre pleinement.

Prenez rendez-vous dès maintenant avec votre conseiller Allianz pour réaliser un bilan retraite. Allianz.fr/retraite/

Prêts pour demain

Plan d'Épargne Retraite : contrat d'assurance de groupe multisupport ayant pour objet la couverture d'engagement de retraite supplémentaire.
***Classement Interbrand 2021** : https://interbrand.com/best-global-brands/
Allianz Vie - Entreprise régie par le Code des assurances - S.A. au capital de 643 054 425 € - 340 234 962 R.C.S. Nanterre. Siège social : 1, cours Michelet - CS 30051 - 92076 Paris La Défense Cedex. **Allianz Retraite** - Fonds de Retraite Professionnelle Supplémentaire régi par le Code des assurances - S.A. au capital de 101 252 544,51 € - 824 599 211 R.C.S. Nanterre. Siège social : 1, cours Michelet - CS 30051 - 92076 Paris La Défense Cedex - Document à caractère publicitaire.

Réalisation : Agence Dékuple - Crédit photo : © Getty Images / Photographe : Sporrer/Rupp.

ITALIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Les mini-actionneurs, imprimés en 3D avec une résine très souple, s'étirent et se contractent comme un muscle humain.

Une main artificielle porte 1000 fois son poids

ROBOTIQUE Imprimée en 3D à l'aide d'une résine flexible permettant des étirements et des contractions proches des muscles humains, cette main robotique de 8 grammes est parvenue à soulever 1000 fois son propre poids, soit 8 kg. L'efficacité du membre repose sur une série de 18 petits actionneurs conçus à l'aide d'un modèle mathématique qui font office de muscles artificiels. **S. R.-M.**

SOURCE : C. DE PASCALI, INSTITUT ITALIEN DE TECHNOLOGIE.

IL A DIT

« Les nations menant des activités spatiales devraient respecter des pratiques exemplaires car la chute d'objets de cette taille présente des risques de pertes humaines ou matérielles »

Bill Nelson, patron de la Nasa, regrettant l'absence de communication de la Chine quant à la rentrée dans l'atmosphère de sa fusée Longue Marche-5B qui s'est désintégrée au-dessus de l'océan Indien le 30 juillet.

À la (re)conquête de la Lune

ESPACE La première mission américaine de retour sur la Lune, Artémis 1, devrait décoller de cap Canaveral (Floride) le 29 août selon la Nasa, avec pour alternative le 2 ou le 5 septembre. Sans astronautes à bord, le lancement vise à tester la nouvelle fusée géante (SLS) de l'agence spatiale américaine et la capsule Orion qui devra se mettre en orbite lunaire avant de rentrer. C'est cette dernière qui accueillera un équipage pour Artémis 2 programmée pour 2024. **H. J.**

NASA/CORY HUSTON

La fusée SLS et la capsule Orion devraient décoller de cap Canaveral (États-Unis) le 29 août.

EPFL

QUESTIONS À

Elisabeth Niel

Chercheuse à l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) chargée de l'analyse des données au sein de la collaboration LHCb, au Cern

« Nous avons découvert trois particules exotiques »

Deux tétraquarks et un pentaquark ont été identifiés par l'accélérateur de particules du Cern (LHC), à Genève, qui ajoute ainsi trois nouveaux hadrons dits exotiques à sa collection.

Qu'est-ce qu'un hadron exotique ?
Un hadron est une particule composée de deux ou trois quarks liés entre eux par l'interaction forte, comme les protons et les neutrons qui composent le noyau des atomes. Ces nouvelles particules en comportent quatre ou cinq, d'où le terme d'« exotique ».

Quel est l'intérêt d'observer ces nouvelles particules ?
L'objectif est d'abord l'étude de l'interaction forte, la plus complexe des interactions en physique des particules. Cela vient notamment du fait que les gluons, qui transmettent cette force, portent une charge. Mais au contraire d'une charge électrique binaire (+/-), elle est triple : rouge, bleue ou verte. Par ailleurs, ces gluons interagissent entre eux et avec les quarks. Nous avons donc besoin d'observer de nouveaux tétraquarks et pentaquarks afin d'accéder à des combinaisons originales et affiner nos calculs.

Comment se forme un tétraquark ou un pentaquark ?
Il existe deux modèles. Celui dit de molécules hadroniques où le tétraquark se composerait de deux paires de quarks légèrement liées par l'interaction forte. L'autre modèle, dit compact, décrit ces quatre particules comme formant un seul état compact. La nouvelle campagne de mesures qui s'ouvre, le « run 3 », devrait nous permettre de déterminer le bon. **Propos recueillis par F. N.**

ENSEMBLE, TRANSMETTONS-LEUR UN MONDE SANS FAIM

Choisir de transmettre un legs ou une assurance-vie à Action contre la Faim, c'est faire le choix d'un monde plus juste. Par ce geste, vous nous aiderez concrètement et durablement à sauver des vies et à faire reculer la faim. Nous sommes à vos côtés pour vous permettre de réaliser ce magnifique projet, pas à pas et en confiance.

DEMANDE DE DOCUMENTATION GRATUITE ET CONFIDENTIELLE

☐ **OUI, je souhaite recevoir gracieusement, en toute confidentialité et sans engagement, mon livret sur les legs et les assurances-vie.**

☐ Mme ☐ M.

Nom : ..... Prénom : .....

Adresse : .....

.....

Code postal : ⌊_⌊_⌊_⌊_⌊_⌋ Ville : .....

Mon numéro de tél. : ⌊_⌊_⌊_⌊_⌊_⌊_⌊_⌊_⌊_⌊_⌋ E-Mail : ..... @ .....

ACTION CONTRE LA FAIM

Bulletin à retourner sous enveloppe affranchie à : Action contre la Faim - À l'attention de Manon Besson
14/16 Boulevard de Douaumont - CS 80060 - 75854 Paris Cedex 17
Et pour un échange personnalisé, n'hésitez pas à nous contacter :
01 70 84 84 84 (Ligne directe) - servicelegs@actioncontrelafaim.org

DON en CONFIANCE

22PLZ3SA

Conformément à la loi Informatique et libertés du 6 janvier 1978, vous disposez d'un droit d'accès de suppression et de rectification aux données personnelles vous concernant en vous adressant au siège de notre organisation.

En se nourrissant des organismes poussant sur l'algue rouge, l'idotée dissémine les gamètes mâles.

WILFRIED THOMAS/STATION BIOLOGIQUE DE ROSCOFF/SU/CNRS

La « pollinisation » existe dans l'eau

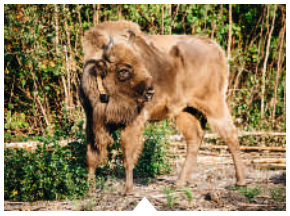
Des chercheurs ont identifié un processus inédit de coopération entre un crustacé marin et une algue.

C'est une première : des scientifiques ont observé un animal en train de jouer le rôle de « pollinisateur » sous l'eau. La pollinisation, qui permet aux plantes à fleurs de transférer des gamètes mâles — le pollen — vers des gamètes femelles pour les féconder peut être effectuée par le vent, l'eau ou des animaux — principalement des insectes comme les abeilles. Mais jusqu'à présent, l'utilisation d'animaux n'avait été observée que sur terre et les scientifiques pensaient que seuls les mouvements de l'eau permettaient aux cellules reproductrices des algues de se disperser. Pourtant une équipe internationale a découvert à la Station biologique de Roscoff (Finistère) que l'idotée, un crustacé marin de quelques millimètres, sert de « pollinisateur » dans la reproduction de l'algue rouge gracilaire *(Gracilaria gracilis)*, à ceci près que les cellules reproductrices ne sont pas appelées « pollen ». Les gamètes mâles de cette dernière ne possèdent pas de flagelles pour se déplacer, et les algues femelles gardent sur elles leurs cellules. Aussi la fécondation n'est possible qu'avec une forte coopération entre l'algue et l'idotée. Le crustacé se nourrit en débarrassant l'algue des organismes qui poussent à sa surface ; en retour, l'algue lui fournit un abri contre les prédateurs. Et en se déplaçant dans les gracilaires, les nuées d'idotées captent des gamètes mâles entourés de mucilage collant. Les scientifiques ont en effet observé au microscope ces cellules reproductrices collées aux pattes et à la carapace des crustacés.

Si la pollinisation a émergé chez les plantes à fleurs terrestres il y a 140 millions d'années, la fécondation par les animaux a pu apparaître bien avant dans le milieu marin : les algues rouges existent depuis plus de 800 millions d'années ! ■ **S. R.**

Le bison de retour en Angleterre

BIODIVERSITÉ Trois bisons femelles ont été réintroduits dans une forêt du sud-est de l'Angleterre. C'est la première fois depuis des millénaires que le bison européen, plus gros mammifère terrestre et cousin le plus proche du bison des steppes qui arpentait autrefois la Grande-Bretagne, va de nouveau vivre en liberté. Un mâle provenant d'Allemagne devrait les rejoindre dans les prochains mois. **H. J.**



ALEXANDER TURNER

Un des trois bovidés femelles réintroduits dans le Kent.

Les requins-baleines victimes du trafic maritime

ICHTYOLOGIE Le suivi par satellite de 348 requins-baleines a montré qu'ils passent près de la moitié de leur temps dans les eaux de surface et que leurs trajets recoupent ceux des cargos. C'est précisément dans ces zones qu'ils disparaissent le plus souvent, l'animal une fois percuté coulant à pic. Une réduction de 10 % de la vitesse des navires diminuerait ces décès, selon les chercheurs. **P. K.**

SOURCE : TAIKI ADACHI, UNIVERSITÉ DE TOKYO, JAPON.

SIMON PIERCE

Les collisions avec les navires sont responsables d'une hausse de la mortalité des cétacés.

Un gène augmente la production de riz

L'expression d'un gène clé pour la photosynthèse et l'absorption d'azote dans le sol a été amplifiée.

XU CHANG/XINHUA-REA

Les plants transgéniques développés par les chercheurs chinois ont produit des grains plus gros et plus nombreux.

Des plantes transgéniques produisant jusqu'à 40 % de riz en plus, c'est ce qu'ont réussi à obtenir des chercheurs de l'Académie chinoise des sciences agricoles, qui viennent de publier leurs résultats dans la revue *Science*. En amplifiant l'expression d'un gène clé pour la photosynthèse et l'absorption d'azote dans le sol, les plants ont produit des grains plus nombreux et plus gros dans des conditions de culture variées. Une telle augmentation n'avait jamais été obtenue chez une plante génétiquement modifiée. Ce meilleur rendement peut permettre à terme d'utiliser moins de terres et d'eau mais aussi d'engrais azotés, ces derniers étant une source importante de protoxyde d'azote, un puissant gaz à effet de serre.

Pour arriver à ce résultat, les chercheurs ont ajouté une copie supplémentaire d'un gène clé de la plante appelé OsDREB1C. Celui-ci code une protéine contrôlant l'expression de centaines d'autres gènes utiles à la croissance de la plante. Cette modification génétique a déjà été appliquée avec succès à des variétés de riz alimentaire en Chine, mais ce pays n'a pas encore lancé de cultures à grande échelle de riz OGM. **P. K.**

EN DEUX MOTS

EAU L'Inrae a inauguré une chaire « Eau, agriculture et changement climatique » chargée d'explorer les solutions pour l'adaptation de l'agriculture aux sécheresses. **ESPIONNAGE** Une équipe de bioacousticiens a transformé un tronçon de fibre optique, insérée dans un câble sous-marin, en un réseau d'hydrophones capable de capter le chant des baleines. **DÉMOGRAPHIE** La population mondiale atteindra 8 milliards d'humains d'ici au 15 novembre selon un rapport de l'ONU, soit 1 milliard de plus qu'en 2010.

OLIVIER DUGORNAY/IFREMER

Le prototype Dikwe construit à l'échelle 1/4 a été installé sur le site d'essais de l'Ifremer, dans la rade de Brest.

À Brest, une digue produit de l'électricité

ÉNERGIE Un prototype de digue productrice d'énergie est en test depuis le 7 juillet en rade de Brest. Baptisé Dikwe, ce caisson de 4,5 m de haut est doté d'un volet oscillant. Les vagues qui entrent et sortent du caisson l'animent d'un mouvement ensuite converti en électricité. Développée par le groupe Legendre, Geps Techno et l'Ifremer, cette digue pourrait couvrir les besoins d'un port ou de navires à quai. **S. R.**

IL A DIT

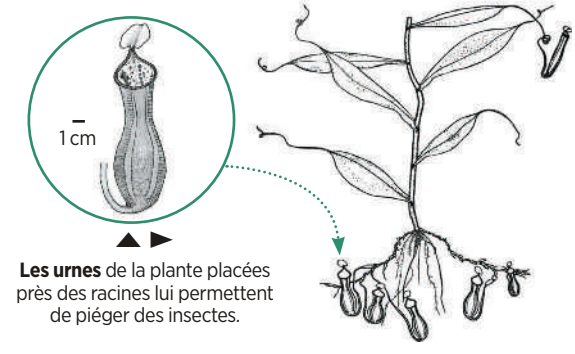
« Il est alarmant de voir des taux de déforestation aussi élevés à un moment où nous subissons déjà les effets du changement climatique : sécheresses, températures extrêmes… »

Edegar de Oliveira, du Fonds mondial pour la nature (WWF) Brésil alors que la surveillance satellite a comptabilisé 1476 km² de forêt détruite au 5 août au Brésil.

Cette redoutable plante carnivore chasse sous terre

BOTANIQUE Une nouvelle espèce de plante carnivore, *Nepenthes pudica*, a été découverte au Kalimantan du Nord, en Indonésie. Sa botte secrète ? Traquer ses proies sous terre grâce à des urnes disposées près de ses racines. Elles lui permettent de piéger fourmis, coléoptères ou acariens jusqu'à 11 cm sous la surface. **A.-S. T.**

SOURCE : MARTIN DANČÁK, UNIVERSITÉ PALACKÝ D'OLOMOUC, RÉPUBLIQUE TCHÈQUE.



KATEŘINA JANOŠÍKOVÁ

Les urnes de la plante placées près des racines lui permettent de piéger des insectes.

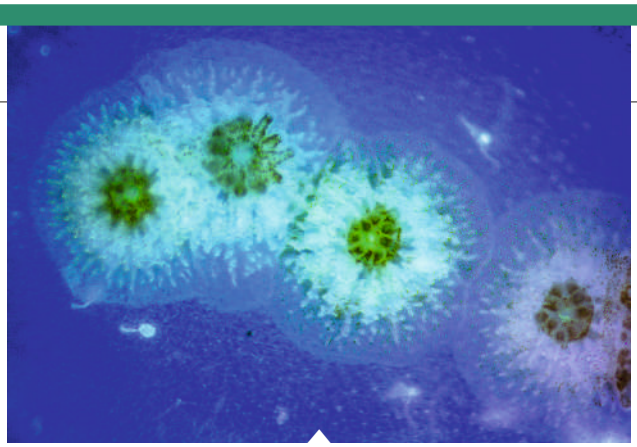
Les crapauds aussi grimpent aux arbres

HERPÉTOLOGIE Des dizaines d'yeux globuleux et des corps trapus recouverts d'une peau verruqueuse… Alors qu'ils cherchaient un rongeur dans la cavité d'un arbre à 1,50 m du sol, des naturalistes sont tombés nez à nez avec une tribu de 50 crapauds communs *(Bufo bufo)*. Après enquête, l'étude qu'ils publient révèle que ce comportement arboricole serait moins occasionnel qu'on le croyait. Les cavités fourniraient aux amphibiens un refuge sûr au microenvironnement frais et humide. **S. V.**

SOURCE : SILVIU PETROVAN, UNIVERSITÉ DE CAMBRIDGE, ROYAUME-UNI

BIOSPHOTO

« Bufo bufo » apprécie les refuges frais et humides trouvés dans les cavités des arbres.



DOR.SHEFY

En fusionnant, les jeunes coraux résistent davantage aux changements de température que les coraux ordinaires.

Les coraux chimères au secours des récifs

La fusion de jeunes coraux entraîne une meilleure réponse au stress, ce qui devrait les armer contre le réchauffement.

Certains types de coraux à l'état chimérique pourraient permettre de restaurer durablement les récifs menacés par le dérèglement climatique, selon une expérience conduite par une équipe franco-israélienne. Les chimères résultent de la fusion de plusieurs jeunes coraux de la même espèce. Or cet état entraîne une activation quotidienne des gènes de réponse au stress qui pourraient les armer contre le réchauffement. Pour s'en convaincre, les scientifiques ont cultivé pendant un an en Méditerranée des colonies de chimères et de coraux ordinaires à 10 mètres de profondeur. Seuls 43 % des coraux « normaux » ont survécu, contre près de 70 % de la colonie chimérique ! Déplacées ensuite pendant 48 heures à 2 mètres de profondeur, où elles ont subi des fluctuations soudaines de la température et de la lumière, les chimères ont à nouveau mieux résisté à ce stress environnemental. **S. R.**

Une IA identifie les moustiques écrasés

ENTOMOLOGIE Pour faciliter le suivi des moustiques les plus impliqués dans la transmission de maladies, des chercheurs ont entraîné une intelligence artificielle à reconnaître l'espèce à laquelle ils appartiennent avant… et après qu'ils ont été écrasés. Pour cela, trois volontaires servant d'appât ont permis de prendre 1500 photos de moustiques sur peau humaine, vivants puis écrasés. **H. J.**

SOURCE : SONG-QUAN ONG, UNIVERSITÉ MALAISIENNE DE SABAH, MALAISIE.

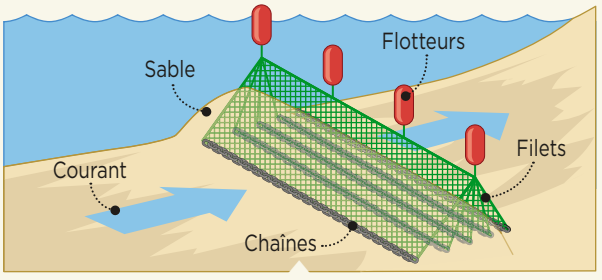
921

Le nombre estimé de loups gris en France en 2022

BIODIVERSITÉ Les loups se portent bien depuis leur retour naturel dans l'Hexagone en 1992. Dans son dernier décompte sur la période 2021-2022, l'Office français de la biodiversité estime à 921 le nombre de loups vivant en France métropolitaine, soit près de 150 de plus qu'en 2020-2021, où 783 individus avaient été recensés. **H. J.**

Un filet anti-érosion pour préserver le trait de côte

GÉOMORPHOLOGIE Pour lutter contre l'érosion du littoral, un dispositif expérimental est entré en test pour un an au large de Sainte-Marie-la-Mer (Pyrénées-Orientales). Baptisé S-Able, ce filet anti-érosion inventé par le Français Dominique Michon vise à ralentir le flux sédimentaire induit par la houle. Les mailles fines permettent de recréer un stock de sable pour former une dune sous-marine à même de casser la puissance des vagues et préserver le trait de côte. **A. C.**



BRUNO BOURGEOIS

Fixés au fond par des chaînes lestées et maintenus en suspension par des flotteurs, les filets assemblés en toit cassent les effets de la houle.

Pour être heureux, mangez mieux

Les études sont formelles : ce que nous mangeons influence directement notre humeur. Non seulement un bon repas est source de plaisir, mais une alimentation saine et équilibrée favorise aussi une humeur positive.

Des nutriments qui font du bien

Les centaines de milliards de neurones qui constituent le cerveau s'échangent en permanence des molécules appelées neurotransmetteurs, tels que la sérotonine, la dopamine et le GABA notamment qui influencent l'humeur. Sans eux, le moral est plus facilement en berne ! Le cerveau consomme chaque jour 20% des réserves de glucose, mais il a également besoin de nutriments spécifiques pour faire fonctionner son réseau de neurones et fabriquer les neurotransmetteurs.

Faire le plein d'Omega 3

Ces acides gras sont des constituants essentiels de la membrane qui enveloppe les cellules, et notamment les neurones. Des études ont montré le lien direct entre une carence en Omega 3 et la survenue d'une sensation de mal-être.

B comme Bien-être

Les Vitamines B, et en particulier les Vitamines B3, B6 et B9, sont essentielles au maintien de fonctions psychologiques normales. La Vitamine B5 participe en outre à la synthèse des neurotransmetteurs.

Magnésium : gare à la carence

Une carence en Magnésium peut favoriser les troubles de l'humeur. En situation d'anxiété, il est expulsé en grandes quantités des cellules. En situation d'angoisse intense et/ou chronique, le corps épuise donc rapidement ses réserves. Il s'ensuit non seulement de la fatigue, mais aussi une plus grande sensibilité à l'anxiété.

Des plantes dans votre assiette

Les pistils de la fleur de Safran contribuent à préserver l'équilibre émotionnel en favorisant une humeur positive et une sensation de relaxation, propices au bien-être.

La racine de Rhodiola est adaptogène : elle aide l'organisme à résister normalement aux situations d'anxiété. Son efficacité sur le burn-out a d'ailleurs été démontrée de très nombreuses fois dans des études cliniques.

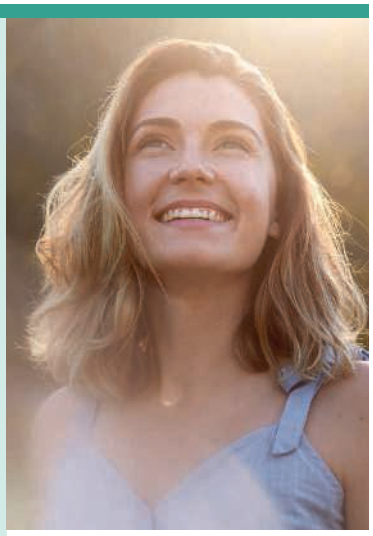
Un geste simple pour retrouver le sourire

Zenytud est un concentré d'actifs naturels d'exception (Rhodiola, Safran et Lactium®) associés pour la première fois en une même formule pour agir sur les neurotransmetteurs les plus importants dans les troubles anxieux (GABA, sérotonine, dopamine).

Leur action synergique fait de Zenytud une formule à la fois puissante et naturelle, idéale en situation de mal-être psychologique.

Zenytud contient également du bisglycinate de Magnésium, la forme la mieux assimilée par l'organisme, ainsi que de des Vitamines B qui contribuent à des fonctions psychologiques normales et à réduire la fatigue.

Zenytud peut être pris en continu tout au long de l'année et ne provoque ni effet indésirable ni accoutumance. La formule de **Zenytud** étant fortement concentrée, il est recommandé de demander l'avis d'un médecin avant son utilisation.



Des conseils ?

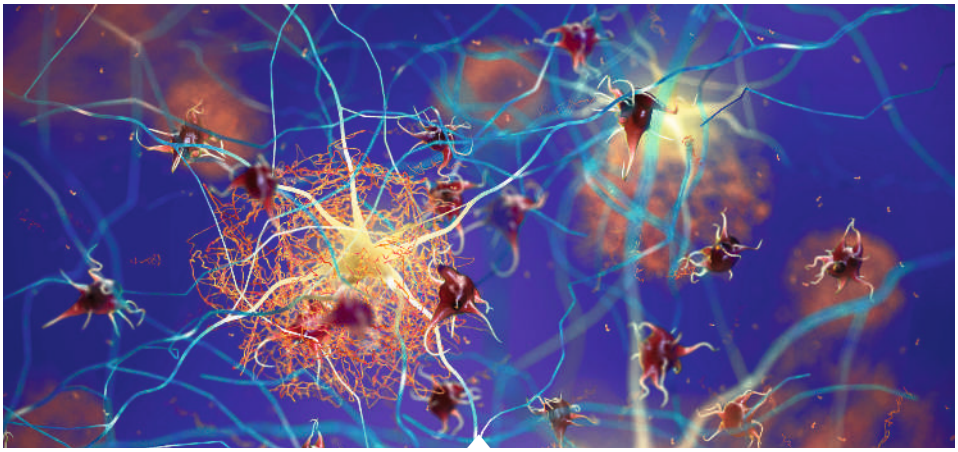
Les experts du Laboratoire PhytoResearch sont à votre écoute au 01 85 50 33 14 et sur www.zenytud.com

Zenytud est disponible en pharmacie grâce au code ACL.

Zenytud 60 gélules végétales code ACL **602 42 55**.

Soupçons de fraudes dans la recherche sur Alzheimer

Plus de 20 articles scientifiques suspects ont été identifiés. Cela met à mal l'hypothèse dominante d'explication de la maladie.



SPL/BSIP

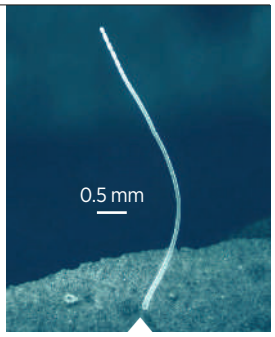
L'accumulation de protéines bêta-amyloïdes dans le cerveau comme seul facteur entraînant la neurodégénérescence a été remise en cause à la suite de falsifications relevées dans des études (illustration).

Une enquête de la revue américaine *Science* révèle que plusieurs études sur la maladie d'Alzheimer auraient fait l'objet de fraudes et de manipulations depuis 2006. Au cœur des soupçons, celle publiée en 2006 dans *Nature*. Citée en référence plus de 2200 fois dans la littérature scientifique, elle avait installé l'accumulation par plaques entre les neurones d'une petite protéine, la bêta-amyloïde, comme principal moteur de l'évolution de la neurodégénérescence caractéristique de cette maladie. Sauf qu'*« après une analyse d'images, on a montré que dans cet article plusieurs d'entre elles se ressemblent énormément et sont similaires à 97 %. En regardant dans d'autres études publiées, c'est encore la même image qui semble être utilisée »*, explique le Pr Philippe Amouyel, directeur général de la Fondation Alzheimer. En tout, plus de 20 articles suspects ont été identifiés.

Deux médicaments dans le collimateur

Plus ennuyeux encore, deux molécules thérapeutiques expérimentales reposent sur la théorie amyloïde : l'aducanumab développé par Biogen d'abord, dont l'autorisation aux États-Unis en 2021 avait été délivrée malgré une efficacité incertaine ; et le simufilam du laboratoire Cassava Sciences, qui est en cours d'essai clinique sur des bases tout aussi incertaines.

Pour autant, *« l'histoire ne s'effondre pas »*, assure Philippe Amouyel. Selon lui, l'explication de cette maladie va simplement bien au-delà de la seule théorie des protéines bêta-amyloïdes : le rôle de l'immunité, des lipides, de la protéine tau sont autant de pistes qui restent à explorer en parallèle. *« Bloquer ou supprimer les bêta-amyloïdes n'est probablement pas la seule réponse à Alzheimer. Il est toujours possible que les médicaments développés dans ce sens montrent une efficacité. »* ■ **C. L.**



JEAN-MARIE VOLLAND / LAWRENCEBERKELEY NATIONAL LABOR

Visible à l'œil nu, la bactérie a été observée dans la mangrove de Guadeloupe.

Découverte d'une espèce géante de bactéries

MICROBIOLOGIE Visible à l'œil nu, cette immense bactérie en forme de fil blanc a été découverte sur des végétaux en décomposition dans la mangrove de Guadeloupe. Unique par sa taille d'un à deux centimètres de long, *Thiomargarita magnifica* a aussi étonné les chercheurs par une complexité cellulaire encore jamais observée chez d'autres bactéries. **E. P.**

SOURCE : OLIVIER GROS, UNIVERSITÉ DES ANTILLES, FRANCE.

IL A DIT

« Les enfants qui manquent de sommeil ont moins de matière grise ou un plus petit volume dans certaines régions du cerveau responsables de l'attention et de la mémoire »

Ze Wang, chercheur à l'université du Maryland (États-Unis), après le suivi sur deux ans de 8300 enfants de 9 à 10 ans dormant moins ou plus de neuf heures par nuit.

Bruits et sifflements d'oreille

Bourdonnement, tintement, sifflement… Ces bruits sont perçus dans l'oreille sans qu'aucun son n'existe réellement. Moralement et physiquement épuisants, ils peuvent véritablement gâcher la vie.

Acouphènes

Ils sont le plus souvent liés à une perte d'audition ou une mauvaise irrigation sanguine de l'oreille interne, mais leur origine peut aussi être mécanique (torticolis, bouchon de cérumen), traumatique (exposition à un son fort) ou encore psychique (le cerveau interprète mal les signaux du nerf auditif). Il est très difficile d'identifier la cause d'un acouphène, et donc de le soulager efficacement.

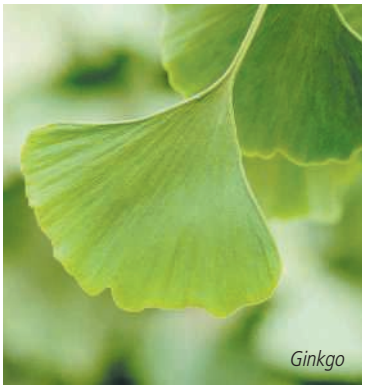
Vivre avec ses gênes auditives

Les générateurs de bruit blanc, la thérapie d'habituation ou encore l'ostéopathie peuvent aider à mieux supporter les gênes auditives, voire à les atténuer. Des produits de santé à base de plantes, tel que **tone**, apportent également une aide naturelle et saine.

Protéger son capital auditif

Développé il y a près de 15 ans par les laboratoires de recherche végétale danois New Nordic, **tone** est une formule naturelle pour préserver l'audition et lutter contre les bruits d'oreille.

tone contient des extraits de Galanga et de Myrtille fortement antioxydants, associés à du Ginkgo qui stimule la microcirculation sanguine et favorise une bonne audition.



Ginkgo

Chaque comprimé apporte aussi du Magnésium qui contribue à maintenir un bon équilibre électrolytique au sein de l'oreille, facilitant la transmission des signaux entre le nerf auditif et le cerveau, ainsi que de la Niacine qui participe au bon fonctionnement du système nerveux.

tone contient enfin de la Vitamine C pour diminuer la fatigue qui accompagne souvent les bruits et sifflements d'oreille.

tone est disponible en pharmacie et parapharmacie. Il est reconnaissable au logo en forme d'arbre argenté de New Nordic, gage de sa qualité supérieure et de sa naturalité.

Une invention suédoise

Sur la base des dernières avancées scientifiques, les laboratoires de recherche végétale New Nordic ont inventé **tone** : un comprimé aux ingrédients fortement concentrés (Sarrasin, Myrtilles, Galanga, Houblon, Vit. B3,C, Magnésium) et contenant en particulier du Ginkgo qui contribue au maintien d'une bonne audition.

Galanga

Des conseils ?

Les experts New Nordic vous répondent au **01 85 81 22 07** (tarif local) ou sur **www.vitalco.com**

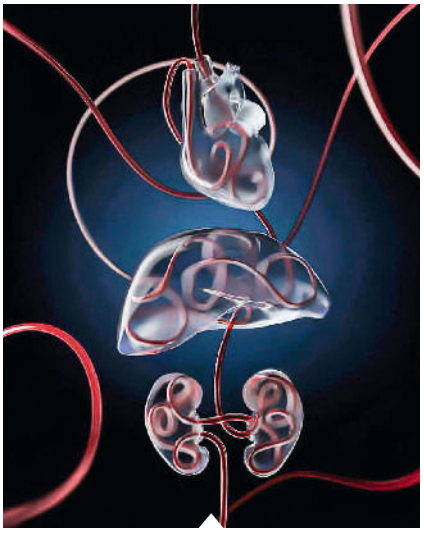
tone™
PRÉSERVER L'AUDITION

tone 60 et 180 cp sous les code **ACL 608 74 56** et **601 67 94.**

Des corps de porcs « ressuscités »

La circulation sanguine a pu être provisoirement relancée sur des animaux décédés une heure auparavant.

Des scientifiques ont réussi à relancer durant quelques heures la circulation sanguine et le fonctionnement de cellules dans des organismes de porcs décédés peu avant, selon une étude publiée dans *Nature* par une équipe de l'université Yale (États-Unis). Dans l'espoir de préserver les organes plusieurs heures, ils ont perfusé les organismes avec une solution contenant le sang des porcs prélevé de leur vivant, une forme synthétique d'hémoglobine qui permet le transport d'oxygène dans le sang ainsi que des molécules protégeant les cellules. La technique baptisée « OrganEx » a permis à de nombreuses cellules de présenter à nouveau une activité biologique, y compris dans des organes vitaux comme le cœur, le foie et les reins, pendant les six heures suivantes. À tel point qu'au microscope, il était difficile de différencier un organe sain d'un organe traité *post mortem*, selon les chercheurs. **H. J.**

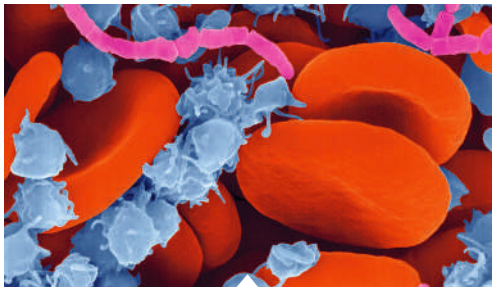


MARIN BALAIC

Le système de perfusion OrganEx a permis de rétablir le fonctionnement du cœur, des reins et du foie de suidés durant six heures (illustration).

EN DEUX MOTS

INFECTIOLOGIE L'influence des virus Zika et de la dengue sur le microbiote de la peau modifie l'odeur corporelle de l'hôte et attire les moustiques vecteurs de ces maladies. **NUTRITION** Chez les femmes, un régime végétarien augmenterait de 33 % le risque de fracture de la hanche par rapport aux omnivores, selon une étude britannique. **CANCER** Les hommes atteints d'un cancer de la prostate ont un risque plus élevé de 50 % en moyenne de caillots sanguins graves, selon une étude de l'université d'Uppsala, en Suède.



SPL/SUCRÉ SALÉ

L'infection bactérienne (en rose) n'a pas le temps de se généraliser quand elle est détectée précocement par l'IA.

Un algorithme détecte le sepsis

DÉPISTAGE Testé sur plus de 700 000 patients pendant deux ans, un algorithme s'est montré capable de dépister le sepsis — infection sanguine mortelle, anciennement appelée septicémie — 1 heure et 51 minutes plus tôt en moyenne que dans les services sans l'IA. En permettant de traiter les malades plus en amont, l'outil a réduit la mortalité de 18,2 % dans les services équipés. **C. L.**

SOURCE : ROY ADAMS, UNIVERSITÉ JOHNS-HOPKINS, ÉTATS-UNIS.

Des embryons synthétiques en utérus artificiel

EMBRYOLOGIE Un embryon de souris généré uniquement à partir de cellules souches, sans spermatozoïde ni ovule, a pu se développer jusqu'au début de l'organogénèse, un stade du développement jamais atteint jusqu'ici avec des embryons artificiels. Pour y parvenir, l'équipe a utilisé un système d'utérus artificiel qu'elle a développé en 2021 *(lire* S. et A. *n° 891)*. **N. G. C.**

SOURCE : SHADI TARAZI, INSTITUT WEIZMANN DES SCIENCES, ISRAËL

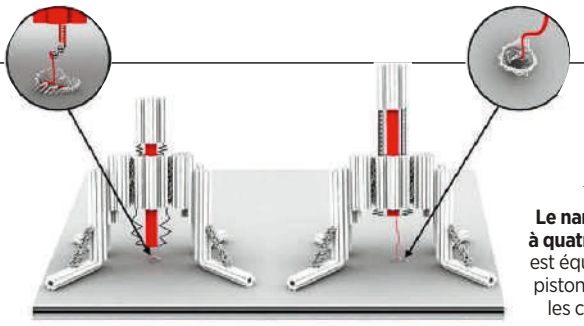
Un foie de rat cryoconservé pendant cinq jours

CRYOGÉNIE Perfusé de molécules cryoprotectrices, ce foie de rat a pu être conservé à -10 °C durant cinq jours. Après décongélation, les organes testés ne présentaient que des dommages limités causés par la glace, preuve selon l'équipe que, sous certaines conditions, les greffons pourraient être conservés bien plus longtemps (six heures en moyenne pour un foie aujourd'hui). **H. J.**

SOURCE : SHANNON TESSIER, UNIVERSITÉ HARVARD, ÉTATS-UNIS.

MASSACHUSETTS GENERAL HOSPITAL

L'organe a été préservé à -10 °C sans dommages sévères.



MILLS A ET AL.

Le nanorobot à quatre pattes est équipé d'un piston piquant les cellules.

Un origami d'ADN pour étudier les cellules

NANOTECHNOLOGIE En assemblant trois molécules d'ADN, des chercheurs ont conçu un nanorobot capable d'actionner les mécanorécepteurs, sortes d'interrupteurs moléculaires à la surface des cellules. Cet origami d'ADN permet en effet d'appliquer et de contrôler une force de 1 piconewton (mille milliardièmes de newton) grâce à son piston central. **H. J.**

SOURCE : ALLAN MILLS, UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER, FRANCE.

64 % La proportion d'applications santé qui n'ont pas été évaluées scientifiquement

E-SANTÉ Sur les 90 000 applications mobiles de suivi de santé mise sur le marché en 2020, à peine plus d'un tiers ferait l'objet d'une évaluation de leur pertinence ou de leur efficacité dans des études scientifiques. **C. L.**

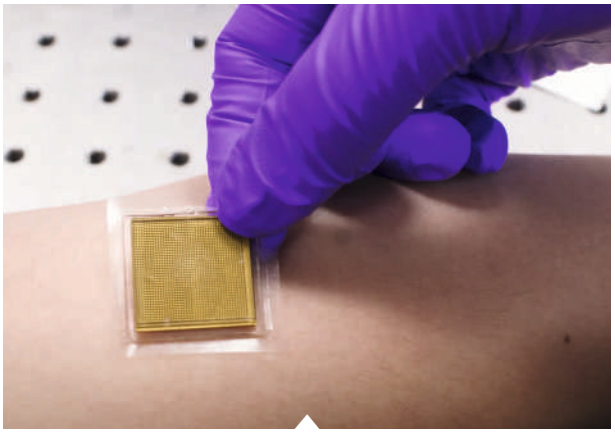
SOURCE : NICOLAS WAGNEUR, CENTRE JEAN-BERNARD, LE MANS, FRANCE.

Des soignants formés avec des patients virtuels

E-SANTÉ Première mondiale pour les futurs médecins de l'université de Cambridge (Royaume-Uni) : ils se sont entraînés sur des hologrammes de patients et sont entrés en salle de consultation, un casque de réalité virtuelle Microsoft HoloLens sur la tête. Ils ont alors pu interagir avec le patient virtuel et lui proposer un traitement. Le premier module portait sur la pneumologie, mais d'autres en cardiologie et neurologie sont en développement. **S. R.-M.**

UNIVERSITY OF CAMBRIDGE

Équipés d'un casque de réalité virtuelle, les étudiants se sont entraînés à leur future pratique avec un patient « hologramme ».



MIT, CHONGHE WANG ET AL.

D'une superficie de 2 cm², le dispositif relié à un enregistreur offre des images des organes en deux dimensions.

Un patch à ultrasons pour surveiller les organes en continu

Ce petit timbre collé sur la peau élimine le recours à un spécialiste pour manipuler la sonde durant l'examen échographique.

Des chercheurs américains du Massachusetts Institute of Technology (MIT) à Cambridge rapportent dans *Science* avoir réussi à visualiser en continu les mouvements du cœur, du diaphragme, de l'estomac et du poumon grâce à un patch à ultrason flexible. Celui-ci prend la forme d'un petit timbre collé solidement mais de manière réversible sur la peau, au-dessus de l'organe à contrôler. Il peut rester fonctionnel pendant au moins quarante-huit heures mais aussi se déformer avec la peau, ce qui permet au patient de rester libre de ses mouvements. Il est relié à l'enregistreur par une broche de fils, mais une connexion sans fil est en développement par les ingénieurs. Les films obtenus auprès de volontaires sains montrent les organes en deux dimensions avec une résolution comparable aux prototypes équivalents testés par ailleurs.

Ce dispositif élimine le recours à un spécialiste pour manipuler la sonde durant l'examen échographique et pourrait permettre un jour d'effectuer un suivi en continu des patients, que ce soit en service de soins intensifs ou même chez eux. **P. K.**

M. HENTZIEN

QUESTIONS À

Maxime Hentzien

Infectiologue aux hôpitaux universitaires de Genève (Suisse)

« Il faut mieux décrire la variole du singe »

Alors qu'environ 30 000 cas ont été recensés dans 89 pays, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) a finalement déclaré la « variole du singe » urgence de santé publique internationale, son plus haut niveau d'alerte.

Qu'est-ce qui a motivé la décision de l'OMS ?
L'intensification de l'épidémie et les risques de propagation justifiaient cette décision. Elle permettra de renforcer la coordination des pays et d'induire des réponses politiques plus fortes comme l'augmentation des dépistages, l'investissement dans la recherche, la sensibilisation des communautés touchées ou l'amplification de la vaccination.

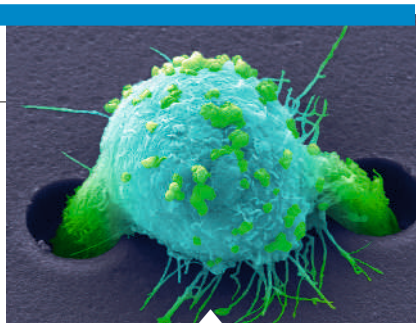
De quels vaccins dispose-t-on et à qui sont-ils recommandés ?
En France, il s'agit des vaccins varioliques de 3e génération, mieux tolérés : l'Imvanex et le Jynneos. Pour l'instant, deux doses sont recommandées pour les hommes et les personnes transgenres rapportant des partenaires sexuels multiples, ainsi que les personnes en situation de prostitution.

Quel est l'objectif de l'étude internationale MOSAIC qui vient d'être lancée ?
Il faut pouvoir mieux décrire cette maladie, son évolution, les facteurs de risque, ou même préciser la durée d'excrétion du virus, qui reste incertaine. En suivant des malades dans 10 pays européens, l'étude pilotée par l'université d'Oxford au Royaume-Uni permettra d'aller plus vite. Pour la recherche de traitements en revanche, des essais spécifiques devront être organisés. **Propos recueillis par H. J.**

La perception de la douleur varie avec le rythme circadien

ALGOLOGIE Notre perception de la douleur fluctue en fonction du moment de la journée, selon une étude française. Sous l'influence combinée du sommeil et du rythme circadien — l'horloge interne qui règle le métabolisme sur 24 heures — elle est la plus faible en milieu d'après-midi entre 15 heures et 16 heures, atteignant son maximum vers 3-4 heures du matin. **C. G.**

SOURCE : INÈS DAGUET, UNIVERSITÉ DE LYON, FRANCE


SPL/ SUCRE SALÉ

Les cellules cancéreuses circulantes (ici du sein) sont plus actives lorsque le patient dort.

Les métastases profitent de la nuit pour se propager

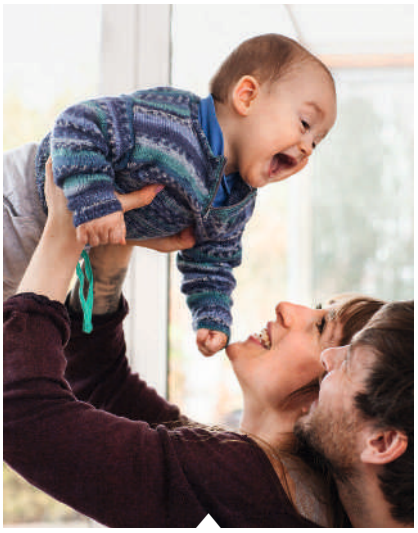
ONCOLOGIE C'est lorsque les patientes atteintes de cancer du sein dorment que près de 80 % des cellules vouées à se détacher de la tumeur passent dans la circulation sanguine. Particulièrement agressives, ces cellules nocturnes semblent plus susceptibles de former des métastases que celles qui se détachent pendant la phase active de la journée. **C. G.**

SOURCE : ZOI DIAMANTOPOULOU, ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE ZURICH, SUISSE.

48 425 Le nombre de génomes viraux retrouvés dans la bouche

VIROLOGIE L'analyse du contenu génétique de 2792 échantillons oraux a permis d'établir un catalogue inédit de la diversité virale existant dans la cavité buccale humaine. À l'instar du microbiote buccal (bactérien), ce virome oral encore méconnu est important pour maintenir la santé buccodentaire. **H. J.**

SOURCE : SHENGHUI LI, UNIVERSITÉ DE MÉDECINE DE DALIAN, CHINE.

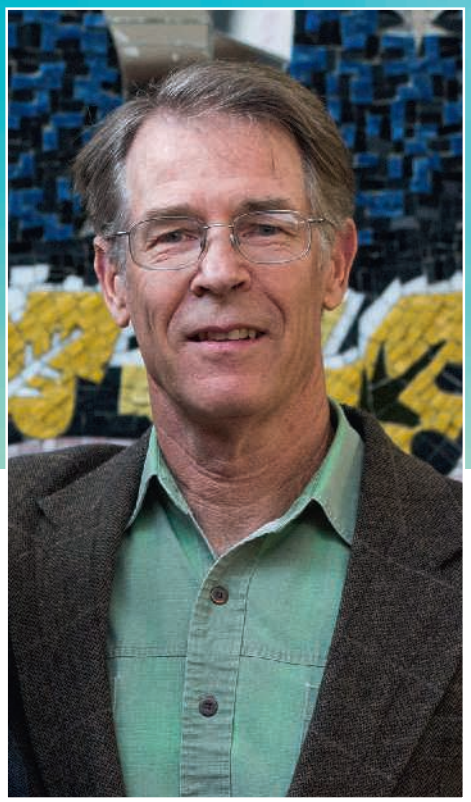

PLAINPICTURE

Le « parler bébé » des parents présente des caractéristiques similaires sur six continents.

Le « mamanais » est une langue universelle

PSYCHOLOGIE Le « parler bébé », aussi appelé mamanais ou parentais, présente des caractères similaires sur six continents, y compris dans de petites sociétés coupées du monde, montrent des chercheurs à partir de 1615 enregistrements parlés et chantés par 410 voix dans 18 langues. Une telle constance suggère, selon l'étude, que ce langage apaisant serait façonné par notre biologie et aurait un intérêt évolutif. **C. G.**

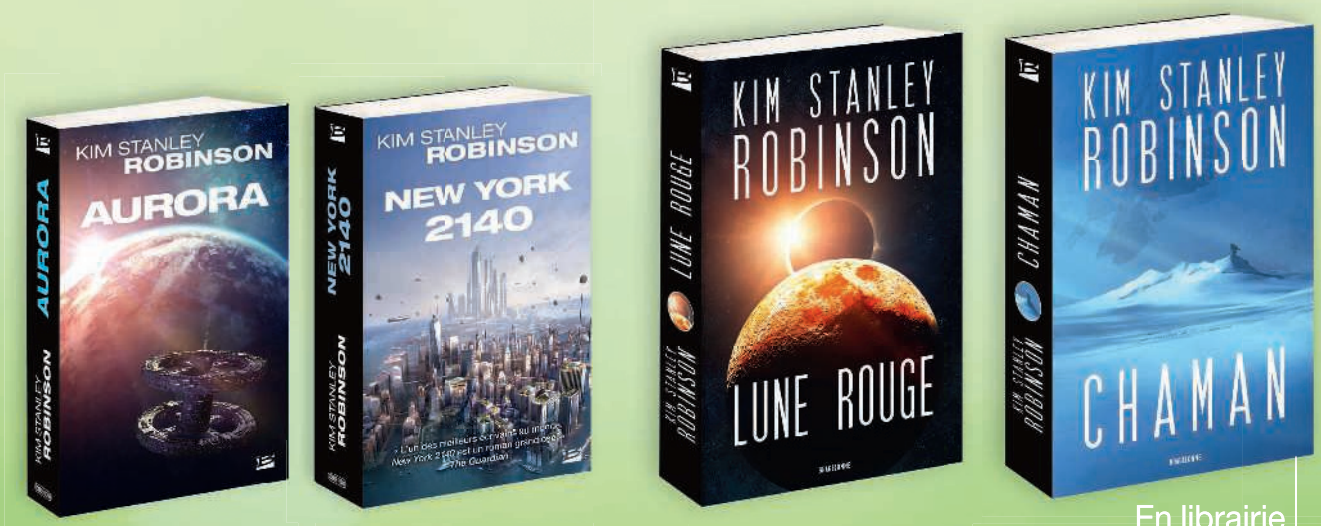
SOURCE : COURTNEY HILTON, UNIVERSITÉ HARVARD, ÉTATS-UNIS.



KIM STANLEY ROBINSON

« S'il fallait choisir un écrivain dont l'œuvre fera référence pour la science-fiction à l'avenir, ce serait Kim Stanley Robinson. »

The New York Times



En librairie
le 17 août 2022

« L'un de nos romanciers les plus courageux, les plus droits et les plus optimistes. » ***The New Yorker***

« Kim Stanley Robinson est sans doute l'un des romanciers de science-fiction américains les plus influents du moment. » ***Libération***

BRAGELONNE

www.bragelonne.fr

Un bébé mammouth incroyablement conservé

Probablement mort et gelé durant la période glaciaire, l'éléphantidé a été découvert par des mineurs dans le territoire canadien du Yukon.

Il y a plus de 30 000 ans, un jeune mammouth laineux s'est définitivement allongé dans ce qui est devenu aujourd'hui le territoire canadien du Yukon. C'est son corps incroyablement momifié, congelé et quasiment complet, qui a été découvert en juin dernier à 5 mètres de profondeur par des mineurs travaillant dans le ruisseau Eureka, dans le champ aurifère Klondike appartenant au territoire des Tr'ondëk Hwëch'in, un peuple autochtone. Selon les premières constatations, il s'agit d'une femelle qui possède encore sa peau et des poils. Les aînés Tr'ondëk Hwëch'in l'ont baptisé Nun cho ga, ce qui signifie « gros bébé animal » en hän, une langue parlée au Yukon et en Alaska. *« Les géologues du Yukon Geological Survey et de l'université de Calgary qui ont récupéré le mammouth gelé sur place suggèrent que Nun cho ga est mort et a été gelé dans le pergélisol pendant la période glaciaire »*, indique le gouvernement du Yukon.

GOVERNMENT OF YUKON / AFP

La jeune femelle, trouvée à 5 m de profondeur, est le premier mammouth laineux momifié presque complet découvert en Amérique du Nord.

À peu près la taille d'un grand chien

Si sa taille n'est pas encore clairement définie, les spécialistes estiment qu'elle est peu ou prou identique à celle de Lyuba, un autre jeune mammouth laineux découvert en Sibérie en 2007. Cette dernière pesait 50 kg, mesurait 85 cm de hauteur et 130 cm de la trompe à la queue, ce qui équivaut à la taille d'un grand chien.

« En tant que paléontologue de l'ère glaciaire, cela a été l'un des rêves de ma vie de me retrouver face à face avec un vrai mammouth laineux, s'est émerveillé le chercheur canadien Grant Zazula. *Ce rêve est devenu réalité aujourd'hui. Nun cho ga est magnifique et l'un des animaux de la période glaciaire momifiés les plus incroyables jamais découverts dans le monde. »* Ce spécimen devient le premier mammouth laineux momifié presque complet trouvé en Amérique du Nord. ■ **A.-S. T.**

F. MÉDARD, F. GAUCHET, INRAP

Le luxueux linceul a été découvert dans une nécropole autunoise (IIIe-Ve siècles).

Une toison d'or pour les défunts

ARCHÉOLOGIE Découverte dans une nécropole fouillée en 2020 dans la ville d'Autun (Saône-et-Loire), cette large pièce d'étoffe faite de fils d'or a été dévoilée par l'Institut national de recherche archéologiques préventives (Inrap). Le tissu fabriqué entre le IIIe et le Ve siècle est sans doute le plus grand morceau de ce type jamais retrouvé. D'une extrême finesse, ce luxueux linceul recouvrait toute la superficie d'un cercueil en plomb, à l'exception de la tête. **M. B.**

IL A DIT

« Il est probable que le changement climatique à la fin du miocène [-5,3 millions d'années] dans le sud de l'Europe, a eu un effet négatif sur l'existence du dernier panda européen »

Nikolai Spassov, chercheur au Musée national d'histoire naturelle de Sofia (Bulgarie), qui a identifié à partir de fossiles une ancienne espèce de panda géant qui vivait en Europe.

SOLGAR
Since 1947

Solgardez votre beauté

Découvrez

PEAU, ONGLES, CHEVEUX

Le flacon d'or Solgar contient des acides aminés, des minéraux, de la vitamine C et du zinc pour la beauté de la peau, des ongles et des cheveux.

En pharmacies et magasins bio

solgar.fr

Pour votre santé, mangez au moins cinq fruits et légumes par jour. www.mangerbouger.fr

Conception : jdcg.fr - © Adobe Stock

« Madame Ples », la cousine sud-africaine de Lucy

Selon de nouvelles datations, les australopithèques d'Afrique du Sud vivaient à la même époque que ceux de l'est du continent.

PALÉOANTHROPOLOGIE Une nouvelle datation, reposant sur la durée d'exposition d'une roche aux rayonnements cosmiques, fait reculer de plus d'un million d'années l'âge d'une grotte du site préhistorique de Sterkfontein en Afrique du Sud et de ses fossiles. Les *Australopithecus africanus*, dont la célèbre Madame Ples, remarquable par son crâne superbe, affichent désormais 3,4 à 3,6 millions d'années. Ils vivaient donc à la même époque que les *Australopithecus afarensis* d'Afrique de l'Est, Madame Ples étant même plus âgée que Lucy (3,2 millions d'années).

J.HEATON / R. CLARKE / DITSONG MUSEUM OF NATURAL HISTORY

L'australopithèque, dont le crâne est daté de 3,4 à 3,6 millions d'années, serait plus ancienne que Lucy.

L'idée selon laquelle les premiers descendaient des seconds se révèle donc fausse. Mais il reste à préciser les relations de parenté de ces deux espèces graciles. Étaient-elles cousines ? « *À l'échelle de millions d'années, à seulement 4000 km de distance, ces espèces ont eu largement le temps de se déplacer et de se croiser* », souligne Laurent Bruxelles, du CNRS, cosignataire de l'étude. Ces résultats invitent à ne plus considérer l'Afrique de l'Est comme seul « berceau de l'humanité », mais à repenser cette notion à l'échelle du continent. **R. M.**

CALADAN OCEANIC AND EYOS EXPEDITIONS / AFP

Aux Philippines, l'épave la plus profonde jamais localisée

ARCHÉOLOGIE Un destroyer de la marine américaine qui avait sombré en 1944 a été localisé à 6895 m de profondeur au large des Philippines par une équipe de la société texane Caladan Oceanic. Ce qui en fait l'épave la plus profonde jamais retrouvée. L'*USS Samuel B. Roberts* a coulé lors d'une bataille contre des navires japonais. Sur l'image, apparaissent les trois tubes d'un lanceur de torpilles. **H. J.**

1,4 million d'années

L'âge du plus vieil Européen

PALÉOANTHROPOLOGIE **Un fragment de visage trouvé à Atapuerca (Espagne) fait reculer de 200 000 ans l'âge des premiers hominiinés d'Europe. En 2007, une mâchoire vieille de 1,2 million d'années y avait été découverte. Reste à préciser si les deux fossiles sont de la même espèce et s'ils sont liés à *Homo antecessor*. R. M.**

Les incendies ont précédé les grands arbres

PALÉOGÉOLOGIE Une équipe a identifié les plus anciennes traces d'incendies dans la nature grâce à des gisements de charbon de bois de -430 millions d'années. Alors que les grands arbres n'étaient pas encore répandus, le feu devait brûler une végétation relativement courte, à hauteur de taille, selon les scientifiques. **H. J.**

SOURCE : IAN GLASSPOOL, COLBY COLLEGE, ÉTATS-UNIS.

BIOSPHOTO

« Canis lupus » aurait été domestiqué quelque part à l'est il y a 28 000 ans environ.

Le chien vient des loups d'Asie

PALÉONTOLOGIE L'analyse de 72 anciens génomes de loups montre que les chiens sont plus étroitement liés aux anciennes espèces de loups d'Asie qu'à celles d'Europe, suggérant un processus de domestication quelque part à l'est il y a environ 28 000 ans. L'étude révèle aussi que certains chiens descendraient d'au moins deux populations sources de *Canis lupus*. **A.-S. T.**

SOURCE : ANDERS BERGSTRÖM, INSTITUT FRANCIS CRICK, ROYAUME-UNI.

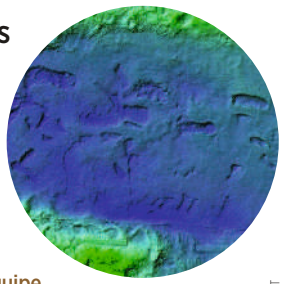
Le « petit prince des glaces », congelé pour être exhumé

ARCHÉOLOGIE Pour extraire et transporter sans l'endommager la sépulture d'un jeune garçon du VIIe siècle découverte à Tussenhausen en Allemagne, des archéologues ont utilisé une technique inédite : la congélation express à l'azote liquide. Désormais surnommé « le petit prince des glaces », l'enfant a été soumis à une décongélation lente en laboratoire pour être étudié. **S. de L.**

BLFD

L'enfant a pu être extrait après une congélation express à l'azote liquide.

Il y a 11 000 ans, les enfants aimaient déjà patauger dans la boue



D. BUSTOS, M. BENNETT

PALÉONTOLOGIE Ces quelques traces de pas sont celles d'enfants de 5 à 8 ans s'amusant à patauger dans la boue il y a plus de 11 000 ans, dans des flaques créées… par les empreintes de paresseux terrestres géants ! C'est ce qu'a pu établir une équipe en analysant ces empreintes de 40 cm de large dans l'actuel parc national de White Sands, au Nouveau-Mexique (États-Unis). **H. J.**

SOURCE : MATTHEW BENNETT, UNIVERSITÉ DE BOURNEMOUTH, ROYAUME-UNI.

Une rare mosquée des débuts de l'islam

ARCHÉOLOGIE L'Autorité des antiquités d'Israël a annoncé avoir exhumé les vestiges d'une des plus anciennes mosquées rurales au monde. Découvertes lors de fouilles à Rahat dans le désert du Néguev, au sud du pays, les ruines dateraient du VIIe ou VIIIe siècle après notre ère, soit des tout premiers siècles de l'islam. **H. J.**

EMIL ALADJEM, ISRAEL ANTIQUITIES AUTHORITY

Mise au jour dans le sud d'Israël, la mosquée comprend un mihrab (niche de prière) orientée vers La Mecque.

L'actualité se poursuit sur Internet

www.sciencesetavenir.fr - www.larecherche.fr

DEEPMIND

INFORMATIQUE

Une IA modélise la quasi-totalité des protéines connues

AlphaFold, le système d'intelligence artificielle de DeepMind, a prédit la structure en 3D de la quasi-totalité des protéines connues. Un bond pour la communauté scientifique qui a désormais accès à une base de données de 200 millions de protéines. À lire sur le site de *La Recherche*. https://bit.ly/LRalpha

MAKING OFF

Dans les coulisses des rotatives de « Sciences et Avenir-La Recherche »

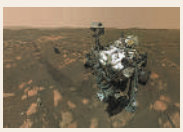
À l'occasion d'une visite chez notre imprimeur Roto France à Lognes (Seine-et-Marne), notre vidéaste Arthur Langlois a réalisé un montage dévoilant les coulisses de cette impressionnante industrie. sciav.fr/907roto

POUR TOUT SAVOIR DE LA SCIENCE

SI VOUS AVEZ…

2 minutes

Curiosity fête ses 10 ans sur Mars



SIPA

Découvrez en diaporama les plus belles images prises par le rover de la Nasa après une décennie à arpenter la planète Rouge. sciav.fr/907curiosity

5 minutes

Des araignées changées en grappins

RICE UNIVERSITY

Des chercheurs ont utilisé la capacité des araignées à se refermer sur elles-mêmes pour attraper de petits objets. sciav.fr/907arachno

10 minutes

Jupiter 1000, une centrale pour le futur

TECHNIVUE - S. GRUFFAT

Reportage sur le site de Fos-sur-Mer (Bouches-du Rhône) qui stocke le surplus d'électricité renouvelable sous forme d'hydrogène et de méthane. sciav.fr/907jupiter1000

Vous êtes déjà 2 millions à nous suivre sur Facebook

Espace

Les mystérieux signaux venus de l'Univers

Du plus profond du cosmos, d'étranges flashs parviennent aux astronomes sans qu'ils réussissent à en identifier la source. Certains jaillissent dans le domaine radio, d'autres dans le visible… Sont-ils émis par des astres encore inconnus ou signalent-ils une présence extraterrestre ? Les scientifiques mènent l'enquête.

Dossier réalisé par
Fabrice Nicot et
Sylvie Rouat

La traque aux sursauts radio rapides est lancée
p. 34

L'étoile qui envoie des signaux incompréhensibles
p. 40

Les astronomes face au piège de l'interprétation
p. 43

Capter et interpréter correctement des signaux venus du fin fond du cosmos constituent un défi pour les astrophysiciens.

GETTY IMAGES

ÉTOILE À NEUTRONS Astre extrêmement compact issu de l'effondrement d'une étoile massive sur elle-même. Elle est en majeure partie composée de neutrons, mais la forme que peut prendre la matière à ces niveaux de densité est mal connue.

PULSAR Astre produisant un signal radio puissant et extrêmement régulier. Il pourrait s'agir d'une étoile à neutrons en rotation rapide sur elle-même.

MAGNÉTAR ou magnétoile, type particulier d'étoile à neutrons disposant d'un champ magnétique extrêmement intense, sans doute parce qu'elle s'est formée récemment à l'échelle du cosmos.

La traque aux sursauts radio est lancée

Repérés seulement en 2007, les sursauts radio rapides (FRB) traversent l'espace sur des milliards de milliards de kilomètres pour venir « tinter » aux oreilles géantes des radiotélescopes du monde entier. La source — ou les sources — de ces signaux très énergétiques reste incertaine, même si des pistes se précisent…

Les sursauts radio rapides (Fast Radio Burst ou FRB en anglais) durent à peine le temps d'un battement d'ailes de mouche. Mais c'est bien assez long pour constituer une énigme. Ces signaux surgissant de l'espace lointain n'ont pourtant rien de spectaculaire en apparence. Ce sont des impulsions radio de l'ordre de la milliseconde émises dans des fréquences s'étalant de la bande FM (une centaine de mégahertz) jusqu'à quelques centaines de gigahertz. Elles jaillissent d'un point de l'espace puis disparaissent. Plus rarement, le signal se manifeste à nouveau, depuis le même endroit, mais sans que l'on puisse déterminer une quelconque périodicité. Un vrai casse-tête. Alors, depuis la découverte du premier FRB en 2007 par l'astronome Duncan Lorimer et son équipe de l'université de Virginie-Occidentale (États-Unis), les astrophysiciens multiplient les observations afin de cerner l'origine de ces mystérieux signaux. Et la traque commence à porter ses fruits…

Ils proviennent de bien au-delà de notre galaxie

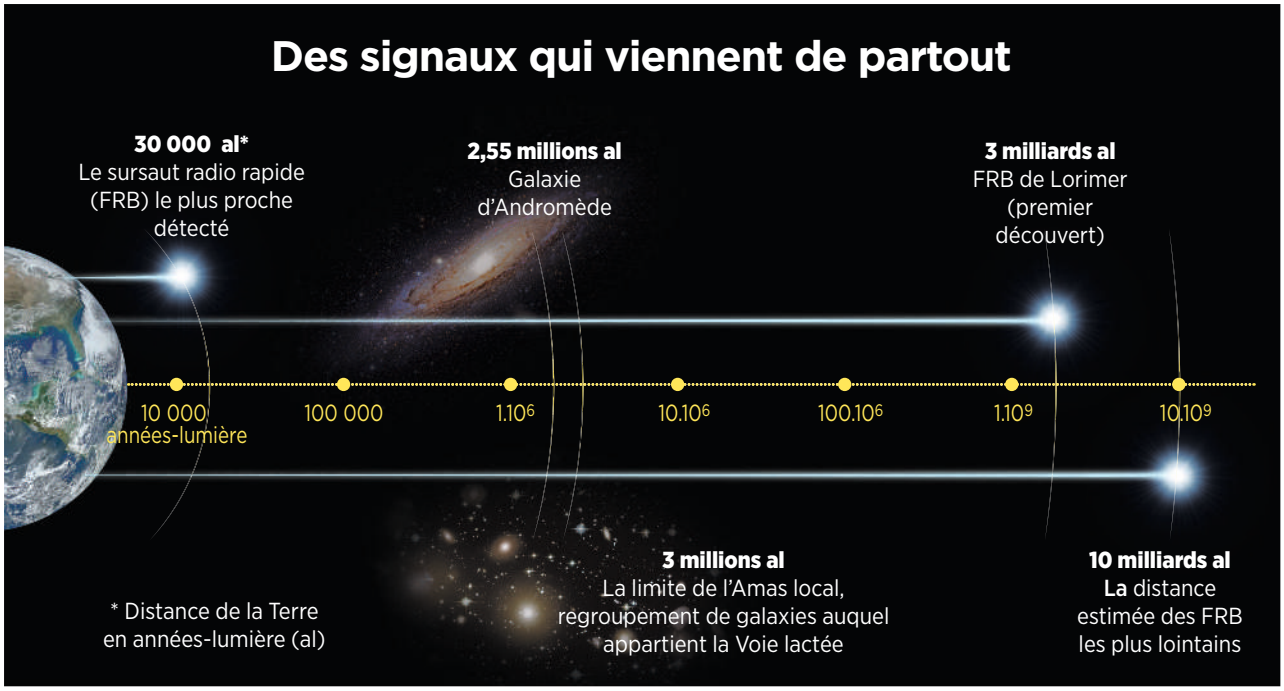
Fabrice Mottez, astrophysicien au Laboratoire Univers et théories, à Paris, livre un premier constat : *« Les FRB viennent presque toujours de très loin, bien au-delà de notre galaxie et des galaxies proches.* » Ainsi, la source du premier FRB découvert se trouve à environ 3 milliards d'années-lumière de nous. Une distance considérable qui fournit une autre information d'importance : ces signaux sont extrêmement puissants. *« Puisqu'ils parviennent jusqu'à nous, nous estimons que les sources délivrent une puissance de 10^{34} à 10^{35} watts, soit bien davantage qu'une supernova* [explosion d'une étoile en fin de vie] *!* » Mais le plus étrange dans cette débauche d'énergie, c'est qu'elle semble ne se produire que dans le domaine des ondes radio. À une exception près, dont nous parlerons plus bas, elle ne s'accompagne pas d'illuminations en lumière visible, X ou gamma, comme ce serait le cas avec une supernova par exemple, ou une collision entre étoiles à neutrons, autres phénomènes très énergétiques *(voir le*

CHINE NOUVELLE/SIPA

FAST (Five-hundred-meter Aperture Spherical Radio Telescope), construit par la Chine, au sud-ouest du pays, a la forme d'une antenne circulaire de 500 mètres de diamètre. Il a détecté en 2019 un étrange sursaut radio répétitif à 3 milliards d'années-lumière de la Terre.

COURTESY OF CHIME

CHIME (Canadian Hydrogen Intensity Mapping Experiment), radiotélescope situé en Colombie-Britannique (Canada), a détecté près de 500 sursauts gamma durant sa première année d'exploitation, entre 2018 et 2019.



BRUNO BOURGEOIS - NASA

lexique p. 34). Ultrabrefs, ultrapuissants, ces sursauts sont aussi ultrafréquents, comme l'explique le radioastronome Ismaël Cognard, du Laboratoire de physique et de chimie de l'environnement et de l'espace (LPC2E), à Orléans : *« Selon une estimation désormais bien acceptée, il se produirait autour de 10 000 FRB par jour sur l'ensemble du ciel. Ce n'est donc pas un phénomène anecdotique. Mais nous n'en voyons pas autant car les radiotélescopes n'observent qu'une toute petite partie de la voûte céleste à la fois.* » Il n'empêche que plus de 500 FRB ont été recensés depuis 2007. Et ce n'est manifestement qu'un début.

Une aiguille dans la botte de foin cosmique

S'il n'y avait ce problème de la quantité phénoménale d'énergie délivrée, les FRB se rapprocheraient d'une autre catégorie d'astres, les pulsars. Ce sont des émetteurs d'ondes radio eux aussi, mais au contraire des FRB, leur régularité est extrême. *« De fait, les FRB ont été identifiés par les spécialistes des pulsars,* note Ismaël Cognard, lui-même un de ces derniers. *Mais ces véritables "métronomes" sont détectés par les radiotélescopes grâce à leur périodicité. Tandis que la plupart des FRB, eux, sont des "one shot"* ». Débusquer un FRB parmi les impulsions des pulsars revient donc littéralement à trouver une aiguille dans la botte de foin cosmique, une aiguille que les astrophysiciens ne cherchaient même pas à l'origine puisqu'ils en ignoraient l'existence. *« Le premier FRB a été enregistré par l'observatoire de Parkes (Australie) en 2001, mais il n'a été découvert par Duncan Lorimer et son équipe que six ans plus tard, lors d'une énième campagne d'analyse de la masse des données enregistrées par le radiotélescope !* », souligne Ismaël Cognard.

L'une des caractéristiques qui intrigue alors les chercheurs, c'est la forme de ce signal radio. Il possède une forte dispersion, ce qui signifie qu'il arrive étiré comme un chewing-gum, sa partie « basse fréquence » survenant quelques minutes après sa partie « haute fréquence ». *« Pour le premier FRB détecté, le "Lorimer", il y avait un décalage de 300 millisecondes entre la bande de fréquence de 1,2 GHz et celle de 1,5 GHz,* explique Sébastien Guillot, astronome à l'Institut de recherche en astronomie et planétologie (Irap), à Toulouse. *Cela peut paraître insignifiant, mais pour un signal de quelques millisecondes, cela représente un retard d'environ 100 fois sa durée.* »

I. COGNARD

« Il se produirait 10 000 FRB par jour dans le ciel. Ce n'est pas un phénomène anecdotique »

Ismaël Cognard, chercheur au Laboratoire de physique et de chimie de l'environnement et de l'espace (LPC2E)

NASA/CHANDRA

GRB 050709 a été découvert le 9 juillet 2005 par l'observatoire spatial HETE de la Nasa (vue d'artiste).

Cette dispersion du signal témoigne du chemin qu'il a parcouru dans l'Univers. Tout au long de son périple, qui dure des milliards d'années, il interagit avec les électrons rencontrés dans le vide interstellaire, ce qui représente un nombre d'interactions cumulées astronomique, malgré une densité d'environ une particule par cm^3. Lors de ces rencontres, les FRB cèdent une fraction de leur énergie aux électrons. Ce transfert est surtout efficace dans les basses fréquences. D'où le retard accumulé par cette partie du signal davantage freinée que celle à haute fréquence. Au passage, on notera que les FRB jouent aussi le rôle de « sondes » en nous renseignant sur la composition de l'espace intergalactique, puisque ce retard accumulé est lié à la densité d'électrons rencontrés.

La liste des suspects se réduit considérablement

Tous ces indices mis bout à bout permettent d'esquisser un portrait-robot de la source émettrice de FRB. D'abord une quasi-certitude : elle est minuscule, quelques centaines de kilomètres tout au plus et sans doute beaucoup moins. Comme l'explique Fabrice Mottez, *« cette estimation découle directement de la brièveté du signal. On considère qu'il est émis par l'ensemble de la source, depuis sa face avant jusqu'à sa face arrière. Si l'ensemble du signal est émis en une milliseconde à la vitesse de la lumière, soit 300000 km/s, alors le diamètre de la source est dans notre exemple de 300 km.* » Avec de telles mensurations, la liste des suspects se réduit considérablement. Il n'y a que deux astres aussi compacts : les étoiles à neutrons, qui se forment à la suite de l'effondrement d'une étoile massive sur elle-même *(lire* S. et A. *n° 896, octobre 2021)*, et les trous noirs. Mais ces derniers ne sont pas favoris. Les trous noirs ne rayonnent pas, sauf s'il y a un disque d'accrétion autour. Dans ce cas, la matière, avant de disparaître, émet beaucoup d'énergie mais dans tout le spectre électromagnétique, pas seulement dans le domaine radio. Par ailleurs, le disque de matière est bien plus grand que le trou noir lui-même, et cela ne correspond pas à une source compacte. Il existe toutefois un scénario qui fait intervenir ce dernier, mais il n'est pas seul. Il met en scène une étoile à neutrons qui accrète de la matière, par exemple en aspirant une étoile voisine. La matière s'accumule à la surface jusqu'à atteindre une densité critique. Alors, l'étoile à neutrons s'effondre sur elle-même et forme un trou noir. Le sursaut radio serait émis juste au moment de l'effondrement. Ensuite, le trou noir empêcherait toute émission. Selon ce modèle, les FRB signeraient donc l'acte de naissance d'un trou noir. *« J'aimais bien ce scénario,* confie Fabrice Mottez. *Mais il a été mis à mal par la découverte de FRB 121102 en 2014, un sursaut qui se répète. Ça ne cadre pas avec la formation d'un trou noir qui est forcément unique… »*

Les « répéteurs », une dizaine environ, ont en effet ajouté une couche de mystère. Il s'agit de FRB qui semblent « s'allumer » puis « s'éteindre » sans périodicité particulière. Tout ce que l'on sait c'est qu'ils paraissent provenir à chaque « allumage » du même endroit, donc *a priori* de la même source. Les astrophysiciens se sont donc mis à chercher un mécanisme qui ne serait pas unique, mais erratique. C'est alors qu'une découverte fortuite, le 28 avril 2020, les a mis sur la piste d'un suspect qu'ils soupçonnaient depuis longtemps, mais pour lequel ils manquaient de preuve : les magnétars (ou magnétoiles), un type particulier d'étoiles à neutrons collant bien au portrait-robot…

Ce jour d'avril 2020, le radiotélescope canadien CHIME (Canadian Hydrogen

ÉVÉNEMENTS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

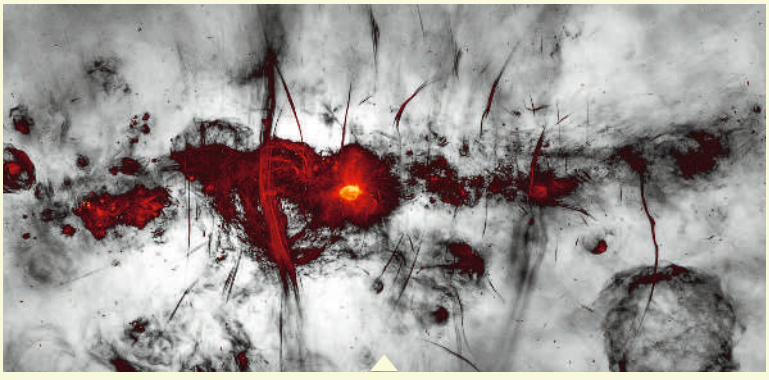
Les « gamma-ray burst », ces autres sursauts…

Comme leurs homologues « radio », les sursauts gamma (en anglais gamma-ray bursts, GRB) surgissent sans crier gare dans le cosmos et témoignent d'une formidable libération d'énergie. Mais elle se produit surtout à l'autre bout du spectre électromagnétique, du côté des rayons gamma. Par ailleurs, ces sursauts durent un peu plus longtemps, une seconde voire davantage, et leur origine est moins mystérieuse. Découverts dans les années 1960, ils ont donné plus de temps aux chercheurs pour élaborer des théories… Selon l'hypothèse la plus en vogue, les GRB résulteraient de l'effondrement sur elle-même d'une étoile massive arrivée en fin de vie, se transformant en trou noir. Autre possibilité : la fusion de deux étoiles à neutrons, pour former là encore un trou noir. La recherche se concentre aujourd'hui sur la mécanique précise à l'origine de l'émission de ces rayons gamma.

IDENTIFICATION

Au centre de notre galaxie aussi, des signaux intriguent…

À six reprises, entre janvier et septembre 2020, le radiotélescope australien ASKAP a enregistré un bien étrange signal radio en provenance du centre de notre galaxie. L'intensité de ASKAP J173608.2-321635 varie considérablement, de 1 à 100, avant de disparaître, puis de réapparaître quelques heures ou quelques jours plus tard, de façon totalement aléatoire. Comme pour les FRB, ce signal ne se manifeste pas dans d'autres longueurs d'onde. L'instrument MeerKAT en Afrique du Sud, plus sensible qu'ASKAP, a ensuite confirmé le signal ainsi qu'une de ses particularités : *« La plus étrange propriété de ce signal est sa très grande polarisation. Cela signifie que sa lumière oscille dans une seule direction, mais cette direction tourne au fil du temps »*, explique Zinteng Wang, coauteur de la publication, dans un communiqué de l'université de Sydney (Australie). Plusieurs phénomènes peuvent être à l'origine d'une polarisation de la lumière. En astronomie, les plus courants sont la diffusion de la lumière à travers des nuages de poussières ou de gaz, ou bien la présence d'un fort champ magnétique. Il est donc impossible de savoir si la lumière est polarisée au niveau de l'astre, ou bien lors de la traversée de matières interstellaires situées entre la source et nous. Faute de mieux, le signal a été classé parmi les Galactic Center Radio Transients (GCRT), ou « signaux transitoires du centre galactique », comme trois objets de ce type découverts depuis 2002, tout aussi mystérieux. Cette petite collection de GRCT qui s'agrandit tendrait à prouver qu'une catégorie encore non identifiée mais significative d'astres peuple bel et bien le centre de la galaxie.



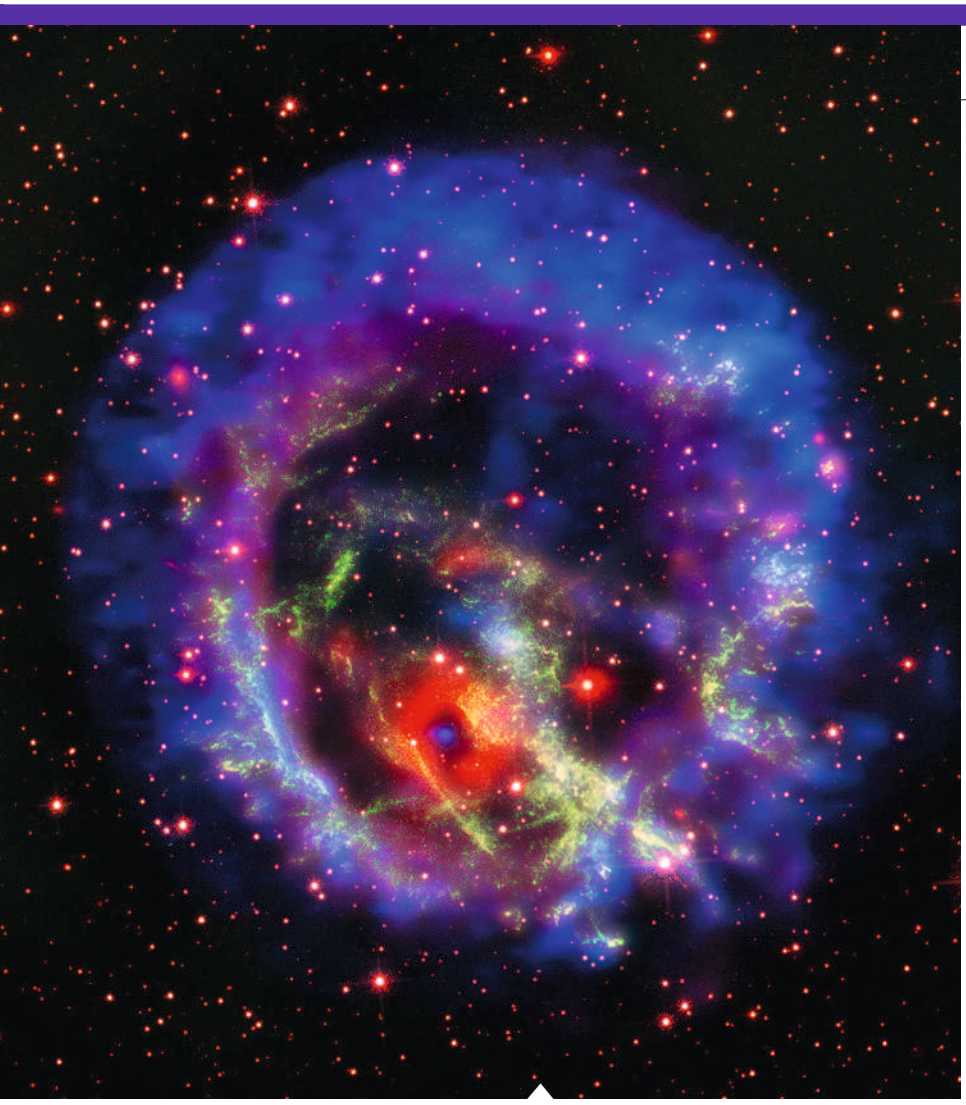
I. HEYWOOD/SARAO

Le centre de notre galaxie pris par le télescope MeerKAT (vue en fausses couleurs). Les zones en orange correspondent aux émissions radio les plus intenses, dont certaines sont inexpliquées.

Intensity Mapping Experiment) capte un signal radio de très grande intensité en provenance d'une source connue depuis 2008 sous le nom de SGR 1935+2154. Il s'agit d'un magnétar se trouvant dans notre galaxie, à « seulement » 30 000 années-lumière. La nouvelle enthousiasme la communauté des chercheurs, car les magnétars pourraient expliquer la puissance des sursauts radio. Ce type d'astre est caractérisé par un champ magnétique intense, de l'ordre de 10^{11} teslas (T). En comparaison, celui à la surface du Soleil atteint environ 10^{-4} T, c'est 10^{15} fois moins ! Comme notre étoile, les magnétars connaissent des éruptions magnétiques ultraviolentes. Selon certains modèles numériques, elles seraient à l'origine d'ondes de choc engendrant une forte émission radio très focalisée. En fait, l'énergie rayonnée dans toutes les directions par le magnétar nous parviendrait confinée dans un cône très étroit, donnant l'illusion d'une quantité d'énergie phénoménale délivrée par la source. Mais ce ne serait qu'une mauvaise extrapolation de notre part.

La source a été mise sur écoute

Autre indice intéressant concernant ce signal nommé FRB 200428 : *« Il a été accompagné d'une éruption dans le domaine des rayons X,* souligne Fabrice Mottez. *Or, les éruptions magnétiques doivent avoir une contrepartie en X. On peut donc penser qu'il est bien associé à un événement s'étant produit sur le magnétar. »* Toutefois, il sera dit que rien n'est simple lorsqu'il est question de ces sursauts radio. Car ce FRB « proche » ne cadre pas tout à fait avec les observations de signaux plus lointains. *« Il était certes puissant, car très proche de nous. Mais si l'on regarde l'énergie émise à la source, elle est 20 à 40 fois plus faible que le plus faible des FRB observés jusque-là »*, remarque Fabrice Mottez. Sans compter qu'après cette découverte, la source a été « mise sur écoute », dans le domaine radio bien sûr, mais aussi



CHANDRA X-RAY OBSERVATORY CENTER

La supernova 1E0102 a été créée par l'explosion d'une étoile massive en fin de vie. Au centre du nuage de gaz subsiste une étoile à neutrons. Cet astre très dense pourrait être émetteur de sursauts radio rapides.

dans d'autres parties du spectre. Qu'a-t-on observé ? *« Des FRB 10 à 100 fois plus faibles que le premier, mais cette fois sans association de rayons X. Il y a aussi eu des émissions X, mais sans FRB… »*, note, dubitatif, Fabrice Mottez. Cette fameuse source semble jouer avec les nerfs des astrophysiciens.

Mais ce qui rend d'autant plus complexe l'étude des FRB, c'est qu'ils n'ont peut-être pas tous la même origine. Car s'ils ont en commun leur puissance, ils diffèrent quelque peu dans leur forme. Ainsi, un FRB découvert en 2020, 20201020A, pourrait, selon une étude en cours, signer l'existence d'astres encore inconnus. *« Ce FRB se distingue par une sorte de structure régulière qui n'avait pas encore été vue jusqu'ici,* explique Sébastien Guillot de l'Irap. *Comme l'a montré en février Inès Pastor-Marazuela, de l'université d'Amsterdam (Pays-Bas), il se décompose en une série de cinq pics séparés de 0,4 milliseconde. C'est une quasi-périodicité.* » Pour Jérôme Margueron, physicien théoricien à l'Institut de physique des deux infinis (IP2I) de Lyon, ce signal pourrait avoir été émis par une étoile à neutrons d'un type nouveau. *« Elle tournerait sur elle-même à la vitesse incroyable de 2400 tours/s. Le record était de 716 tours/s. Or, plus une étoile à neutrons tourne vite, plus sa structure interne doit être capable de résister à la dislocation complète de l'étoile. Ce qui signifie qu'elle mesurerait moins de 10 km de rayon ! Or, les estimations sont de l'ordre de 13 à 14 km. À quoi ressemble un astre aussi petit ? Est-ce encore une étoile à neutrons, ou bien la matière se trouve-t-elle par exemple sous la forme d'une mer de quarks ? L'existence d'un tel astre poserait beaucoup de questions.* »

Certains sursauts radio rapides, différents dans leur forme, pourraient signer l'existence d'astres encore inconnus

Un étrange signal en continu

Pour en avoir le cœur net, les astrophysiciens traquent d'autres types de signaux comme celui-ci, comportant des pics réguliers. Si les étoiles à neutrons et assimilées semblent bien les candidates idéales comme sources de FRB, la preuve définitive manque encore. Et les astrophysiciens ne sont jamais au bout de leurs surprises. Dernière en date : le 8 juin, une étude publiée dans la revue *Nature* concernant FRB 190520 indique qu'il possède une drôle de caractéristique : entre deux salves FRB, il émet un signal radio beaucoup plus faible mais continu… Étrange. D'autant plus que c'est le deuxième de ce type, après 121102 identifié en 2014. Les FRB et la source persistante viennent-ils exactement du même astre ? Ou bien sont-ils deux, par exemple un trou noir dans le rôle de l'émetteur radio continu en train de dévorer une étoile voisine, à l'origine, elle, du FRB ? Pour les astronomes, il s'agit non plus seulement d'identifier les acteurs de la pièce, mais aussi d'imaginer la scène qui se joue dans une galaxie très lointaine… ■

F. N. @fnicot07

L'étoile qui envoie des signaux incompréhensibles

Les hypothèses rationnelles se succèdent avant d'être réfutées une par une. Pourquoi « l'étoile de Tabby » clignote-t-elle de façon anarchique ? Faute de réponse, les tenants d'une hypothèse extraterrestre affûtent leurs arguments.

C'est l'astre le plus mystérieux de la galaxie : située à 1480 années-lumière du Système solaire, l'étoile de Tabby (KIC 8462852) est soupçonnée par certains astronomes d'être entourée d'une « sphère de Dyson » — une gigantesque mégastructure de collecte d'énergie construite par une civilisation extraterrestre. Loin d'être vérifiée, cette hypothèse permettrait néanmoins d'expliquer les signaux apparemment incompréhensibles qu'elle nous envoie. Des signaux d'abord captés par le télescope spatial Kepler. Lancé en 2009, cet instrument de la Nasa a observé pendant quatre ans les variations de lumière de 150 000 étoiles dans la constellation du Cygne, ce qui lui a permis de détecter la présence de plus de 2000 exoplanètes. Celles-ci ont été recensées grâce à la méthode dite des transits : la baisse de luminosité périodique d'une étoile est associée au passage d'une planète devant elle. L'effet d'un transit d'une planète sur la luminosité d'une étoile est en réalité très faible : le passage d'un corps comme Jupiter devant une étoile semblable au Soleil entraîne une baisse de luminosité apparente d'environ 1 %, et pour une jumelle de la Terre de seulement 0,001 %.

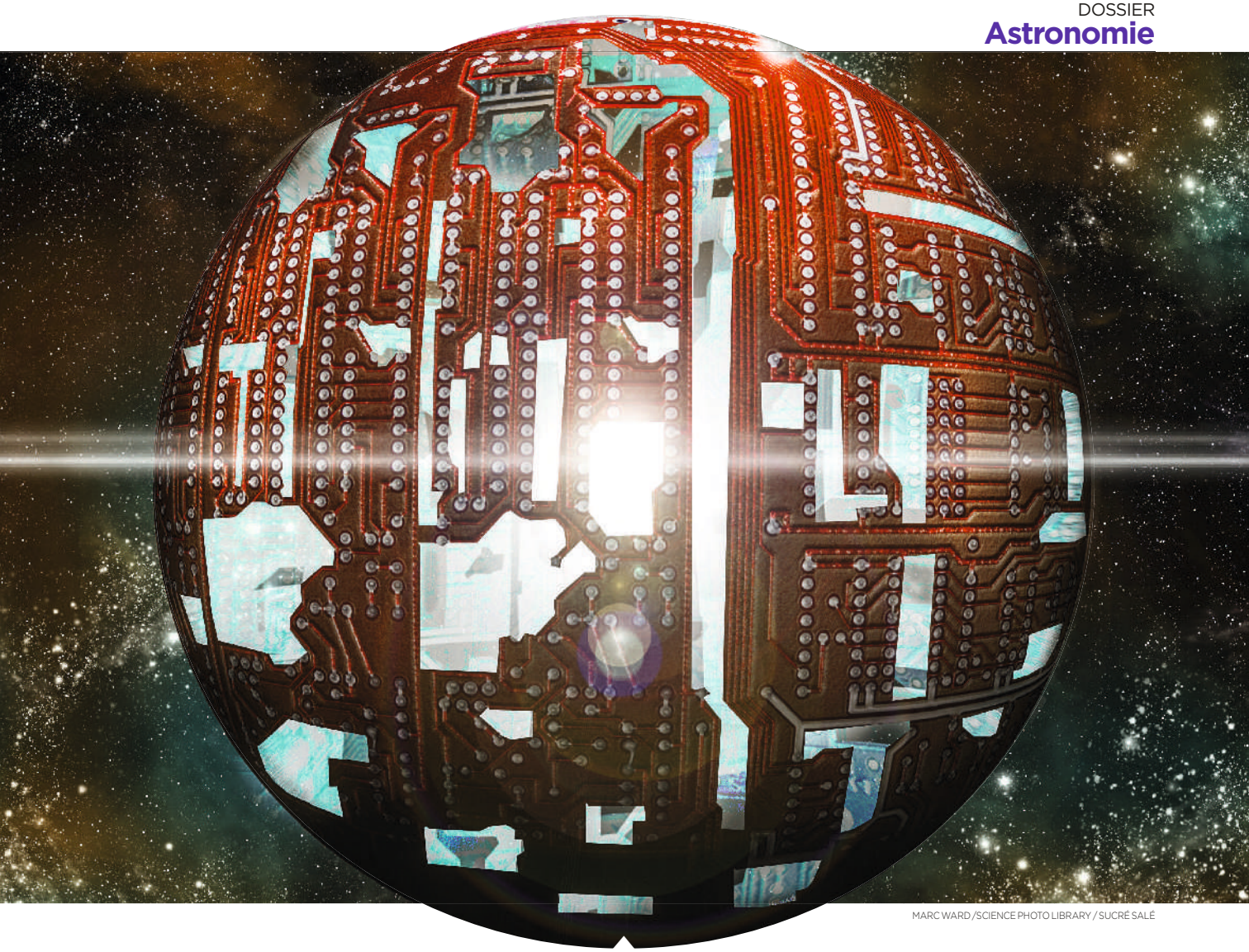
Pour passer au crible l'énorme volume de données engrangées par Kepler, les chercheurs ont d'abord fait appel à des chasseurs de planètes volontaires en sollicitant le groupe de science citoyenne en ligne Planet Hunters. Ce sont ces astronomes amateurs qui les premiers ont été frappés par les étonnantes courbes de lumière de KIC 8462852, un astre un peu plus massif et brillant que le Soleil. Ces graphiques montraient en effet des baisses de flux allant jusqu'à 22 % ! Quelle planète ultragéante pouvait éclipser un cinquième de l'éclat d'une étoile ? « *Les volontaires de Planet Hunters se sont alors adressés à l'équipe scientifique, pour savoir ce qui pouvait être la cause de ces observations étranges* », se souvient Tabetha Boyajian, astrophysicienne à l'université d'État de Louisiane (États-Unis), qui a pris la tête des recherches sur cet astre depuis nommé « l'étoile de Tabby ».

Cet objet stellaire est d'autant plus intri-

TEDX2016

« À ce jour, il n'y a pas de théorie largement acceptée sur ce qui se cache derrière le comportement étrange de cette étoile »

Tabetha Boyajian, astrophysicienne à l'université d'État de Louisiane (États-Unis)



MARC WARD/SCIENCE PHOTO LIBRARY / SUCRÉ SALÉ

Mégastructure extraterrestre hypothétique, la sphère de Dyson entourerait une étoile pour en capter toute l'énergie à destination d'une civilisation avancée.

gant que ses baisses de luminosité ne sont pas périodiques et peuvent durer de 5 à 80 jours, avant de revenir à la normale. Impossible donc de les expliquer par le passage d'une planète. En 2016, l'astronome Bradley Schaefer de l'université d'État de Louisiane révèle qu'en étudiant des données d'archives, y compris des plaques photographiques anciennes, il a pu mettre en évidence que la luminosité de KIC 8462852 avait déjà diminué de 14 % entre 1890 et 1989. Quelques mois plus tard, une étude publiée par les astrophysiciens américains Joshua Simon de l'Institut Carnegie à Washington et Benjamin Montet du Caltech à Pasadena vient encore compliquer le dossier. Elle montre en effet que durant les quatre années d'observation de la région par Kepler, l'éclat de l'étoile s'est peu à peu affaibli, avec une baisse de 1 % de sa luminosité les trois premières années puis de 2 % en six mois, avant de se stabiliser durant les six derniers mois d'observation. Pour l'expliquer, les deux chercheurs formulent l'hypothèse qu'une collision entre deux planètes en orbite autour de l'étoile aurait pu occasionner la brusque baisse de brillance de 2 %. Ou l'explosion d'une comète dans la ligne de visée de Kepler.

Mais l'analyse en infrarouge de l'étoile et de son environnement par l'équipe de Tabetha Boyajian a ensuite exclu ces hypothèses, de même que celles de la présence d'amas de poussière ou de planètes en formation autour d'elle. La seule explication naturelle qui n'a pas encore été exclue est celle de l'éventuelle présence d'un essaim de grosses comètes ou de débris planétaires qui bloqueraient la lumière de l'étoile lorsqu'il passerait devant elle.

En 2021, l'enquête connaît un nouveau rebondissement : de nouvelles données publiées par des chercheurs de l'université d'Arizona (États-Unis) montrent que Tabby est liée gravitationnellement à un petit astre compagnon, une naine rouge distante de 132 milliards de kilomètres.

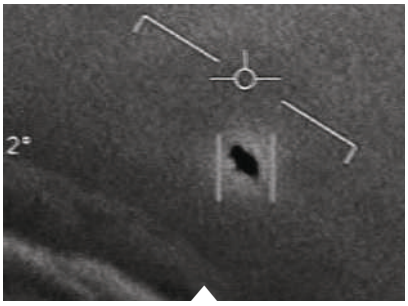
NASA

« Le processus scientifique est valable pour traiter tous les problèmes, y compris celui des phénomènes inexpliqués »

Thomas Zurbuchen, administrateur associé à la Nasa

Mais rien ne prouve encore que ce corps lointain soit à l'origine des bizarreries décrites. *« À ce jour, il n'y a toujours pas de théorie largement acceptée sur ce qui se cache derrière le comportement étrange de cette étoile »*, conclut Tabetha Boyajian.

Alors l'hypothèse d'une infrastructure extraterrestre fait toujours rêver les plus audacieux. Décrite dans un article scientifique en 1960 par le physicien américain Freeman Dyson, la sphère artificielle entourerait une étoile pour en capter plus efficacement l'énergie. Ainsi, une sphère de Dyson construite autour du Soleil recevrait neuf fois plus d'énergie que celle qui est interceptée depuis la Terre. Un tel dispositif servirait à une civilisation de type II selon l'échelle de Kardachev. Proposée en 1964 par l'astronome soviétique Nikolaï Kardachev, cette dernière prédit qu'une civilisation de type I se suffit de l'énergie disponible sur sa planète (4×10^{16} watts), alors que celle de type II aurait besoin de consommer directement l'énergie de son étoile (4×10^{26} W). Un article publié en 2020 par l'astronome américain Robert Gray classe notre civilisation terrestre comme étant de type 0,72 à la date de 2015. Les habitants du système stellaire de Tabby, s'ils existent, appartiendraient donc à une civilisation bien plus avancée que la nôtre.



DÉPARTEMENT DE LA DÉFENSE AMÉRICAIN

Extrait d'une vidéo prise en 2004 par un avion de chasse américain, où figure un objet volant non identifié (tache noire).

Si aucun programme consacré à la quête d'hypothétiques signaux extraterrestres n'a livré de résultats à ce jour, force est de constater qu'un nombre croissant d'objets volants non identifiés sont signalés depuis le début des années 2000, a indiqué en mai Scott Bray, directeur adjoint du renseignement pour la US Navy, devant le Congrès américain. Prudemment, il a précisé que rien ne pouvait suggérer une origine non terrestre à ces phénomènes, sans par ailleurs l'exclure… À ce jour, des dizaines de phénomènes inexpliqués ont été constatés par des pilotes militaires. Drones, oiseaux, nouveaux équipements militaires testés par les armées russes ou chinoise ? Quels qu'ils soient, ils représentent pour les dirigeants de l'armée américaine *« une menace potentielle pour la sécurité nationale et le trafic aérien »*. Le département de la Défense des États-Unis a donc lancé un nouveau programme pour recenser les phénomènes inexpliqués et identifier les « armes » expérimentales potentiellement déployées par des puissances belliqueuses.

La Nasa lance une étude de grande ampleur

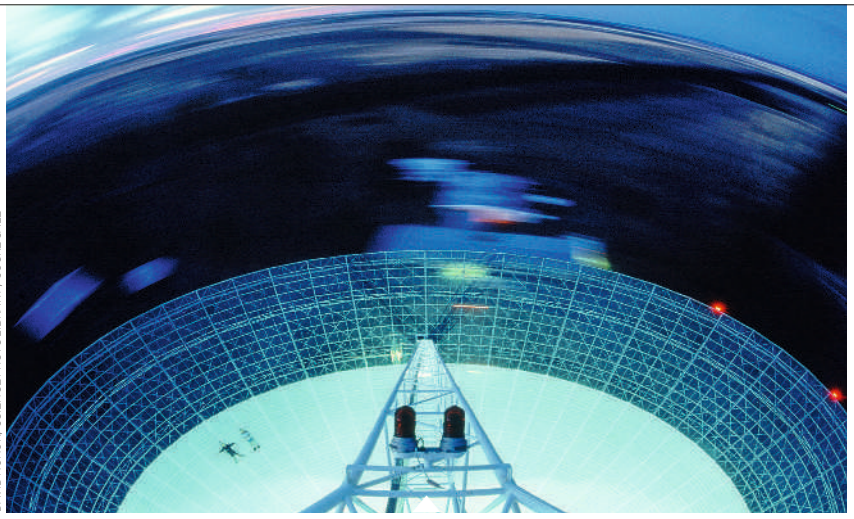
L'armée américaine a été rejointe peu après sur ce terrain par la Nasa. Objectif : lancer une recherche solide en la matière, car *« le processus scientifique est valable pour traiter tous les problèmes, y compris celui-là »*, a déclaré Thomas Zurbuchen, administrateur associé à la Nasa. Cette étude de grande ampleur sera dirigée dès la rentrée et pour neuf mois par l'astrophysicien David Spergel, spécialiste du fond cosmologique à l'université de Princeton (États-Unis). Il s'agira de recueillir un maximum de données et de témoignages et d'élaborer des outils scientifiques pour les analyser et ainsi déterminer leur nature et leur origine, extraterrestre ou non. En espérant que les signaux inexpliqués ne le restent pas à jamais. ■ **S. R.** @srouat1

SPL/SUCRE SALÉ

UFOLOGIE

Première détection des « petits hommes verts »

En 1967, l'Irlandaise Jocelyn Bell est étudiante à Cambridge (Royaume-Uni). Elle travaille à la réalisation d'un radiotélescope destiné à l'étude de la scintillation des quasars, les sources les plus lumineuses de l'Univers. En examinant les données de l'instrument, elle repère un signal qui se répète avec une régularité de métronome toutes les 1,3 seconde ! Un message des extraterrestres, se dit aussitôt l'équipe. Qui baptise le signal du nom de Litte Green Men 1 (LGM ou Petits Hommes verts 1). Mais avant de s'avancer sur la scène mondiale avec une telle annonce fracassante, il faut vérifier si le message peut avoir une origine naturelle. Reprenant son ouvrage, Jocelyn Bell détecte alors une nouvelle source similaire à distance de la première. S'agirait-il d'une nouvelle classe d'objets célestes ? Les astronomes ont depuis lors montré que les petits hommes verts étaient en fait des étoiles à neutrons en rotation rapide, nommés pulsars. Aujourd'hui, tous ces astres virevoltants sont recensés sous l'acronyme LGM : petits hommes verts !



DAVID NUNUK/SCIENCE PHOTO LIBRARY/SUCRÉ SALÉ

L'observatoire de Parkes, en Australie, a enregistré en 2001 le premier sursaut radio rapide jamais identifié.

Les astronomes face au piège de l'interprétation

Après avoir permis la détection des premiers sursauts radio rapides, les données d'un radiotélescope australien semblaient recéler une découverte encore plus excitante. Durant quatre ans, les scientifiques ont multiplié les hypothèses.

Surnommé l'Assiette (The Dish), le radiotélescope de Parkes, en Australie, a connu ses heures de gloire. Il a participé à la retransmission des premiers pas sur la Lune en 1969. Surtout, il a enregistré en 2001 le premier sursaut radio rapide (FRB) jamais identifié, en provenance du Petit Nuage de Magellan. Il faudra toutefois attendre 2007 pour que cet événement soit décelé grâce à l'analyse de données d'archives *(lire p. 34)*. D'autres données plus anciennes de l'observatoire sont alors disséquées. C'est ainsi qu'en 2011, Sarah Burke-Spolaor, professeure à l'université de Virginie-Occidentale (États-Unis), met le doigt sur une série d'étranges bouffées d'ondes radio de quelques millisecondes enregistrées depuis 1998. Ces événements sont similaires aux FRB, mais semblent parvenir de toute la voûte céleste. Le télescope de Parkes utilise en effet un récepteur comportant 13 pixels, chacun d'entre eux correspondant à une région du ciel. Une impulsion d'ondes en provenance d'un astre lointain n'apparaît normalement que dans un seul pixel. Mais les nouveaux signaux de Parkes apparaissaient, eux, dans les 13 pixels à la fois ! Cela n'est possible que s'ils émanent de l'environnement terrestre. Sarah Burke-Spolaor leur attribue alors le nom de « perytons » (péritios en français) : des animaux imaginaires hybrides entre l'oiseau et le cerf qui projettent une trompeuse ombre humaine. *« Nous soupçonnions que leur origine était liée à des sortes d'interférences électroniques d'origine humaine ou des éclairs dans l'atmosphère,* se souvient Emily Petroff, astrophysicienne à l'université d'Amsterdam (Pays-Bas). *L'ennui, c'est qu'à une époque où personne n'était sûr de la réalité des sursauts radio rapides, la découverte des péritios a également remis en question leur existence.* »

Le mystère des fours à micro-ondes

Au cours des années 2011 à 2015, l'observatoire de Parkes détecte de plus en plus de sursauts radio rapides… et de péritios. Il est d'ailleurs l'un des deux seuls observatoires du monde à observer les seconds, avec celui de Bleien, en Suisse. *« Avec une plus grande population de chaque type de source, nous avons commencé à les comparer et à chercher des tendances,* raconte Emily Petroff, alors chargée de découvrir leur origine. *Nous avons remarqué que tous les péritios étaient captés pendant les heures de travail au télescope, et qu'ils atteignaient un pic particulier vers 12 h-13 h.* » L'observatoire s'équipe alors d'un instrument de recherche des interférences de fréquence radio. Très vite, cela permet de constater que chaque détection d'un péritio s'accompagne d'une rafale d'interférences dans la gamme de fréquences radio communément associée à l'électronique, notamment au Wi-Fi, aux téléphones portables et aux fours à micro-ondes. *« Or si le site n'avait ni Wi-Fi ni téléphones portables, il avait bien des fours à micro-ondes,* explique la jeune chercheuse. *Notre enquête a ensuite nécessité de nombreux essais. Finalement, nous avons réussi à créer des péritios en ouvrant prématurément la porte du four à micro-ondes alors qu'il était en marche. C'était le moment "eurêka" : une réponse si simple à une question qui se posait depuis des années ! Le mystère des péritios était résolu et il était possible d'affirmer que les sursauts radio rapides extragalactiques étaient eux bien réels !* » De fait, le FRB de 2001 a quant à lui été enregistré à 5 h 50 min, avant le premier café du matin. ■ **S. R.** @srouat1

Web3
Enquête sur l'Internet du futur

Métavers pour les uns, infrastructure décentralisée pour les autres, espace fracturé pour les plus pessimistes… Internet est à la croisée des chemins. Son avenir pourrait prendre diverses formes. Qui, selon les avis, permettront de s'affranchir de ses dérives actuelles ou les renforceront. Plongée dans le futur virtuel.

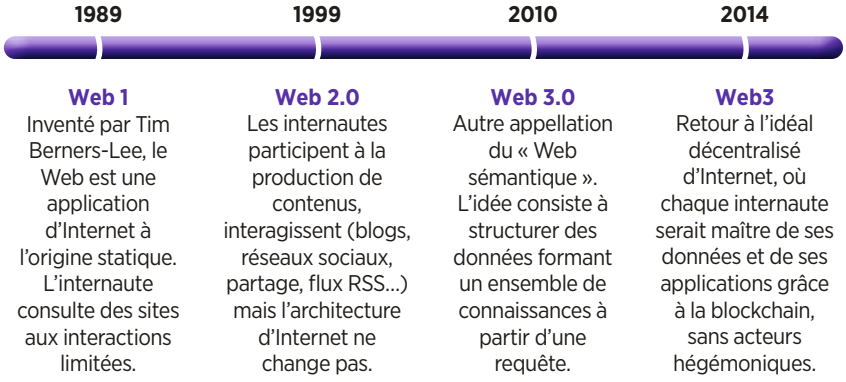
Par Arnaud Devillard @A_Devila **illustrations Ale + Ale pour Sciences et Avenir-La Recherche**

« Vous. » Le mot s'affiche en gros à la « une » du magazine américain *Time*, au centre d'un écran d'ordinateur. C'était le 25 décembre 2006, pour le numéro annuel désignant la « personnalité de l'année ». *« C'est vous qui avez le contrôle de l'ère de l'information »*, assène encore l'hebdomadaire. Car l'époque est à l'Internet collaboratif, aux blogs, à la production et diffusion de contenus par l'internaute *lambda*. Les géants d'aujourd'hui étaient des nouveau-nés : l'encyclopédie participative Wikipédia a été lancée en 2001 ; Facebook et le projet de cartographie collaborative OpenStreetMap en 2004 ; YouTube et Dailymotion en 2005. C'est l'âge de ce que l'on a appelé le Web 2.0, successeur du Web 1.0, le Web originel, sans interaction. Un peu plus de quinze ans ont passé depuis ce numéro de *Time*. Et force est de constater que le pouvoir promis par le Web 2.0, ce sont — ironiquement — les géants du numérique qui le détiennent. Comment ? Grâce aux données des internautes qu'ils ont su capter, utiliser, monétiser. Des services comme Facebook, YouTube, Amazon, Google ont créé un écosystème très centralisé, régi par leurs algorithmes de recommandation et de personnalisation. Les données de tout internaute sont dans leurs datacenters, les technologies pour les exploiter sont les leurs.

C'est dans ce contexte qu'une formule fait aujourd'hui le « buzz » : Web3. La promesse : faire un virage à 180° et revenir à un Web décentralisé. Pour y parvenir, une technologie : la *blockchain*,

ce système de transaction de pair à pair apparu avec le bitcoin, une monnaie virtuelle, en 2009. Son atout : des règles cryptographiques qui se passent des acteurs hégémoniques ou des organismes centraux. Attention, Web 1, 2 ou 3 ne s'éliminent pas les uns les autres et peuvent cohabiter. Ces évolutions ne sont pas des mises à jour comme il en existe avec les logiciels, où la version la plus récente vient « écraser » la précédente. Personne ne lance un « nouveau Web », les choses se font de manière empirique, avec l'émergence d'outils et d'interfaces que l'internaute s'approprie s'il en a envie.

Les quatre formes du Web



Une rupture plus nette avec les deux phases précédentes

L'expression Web 2.0 elle-même est apparue des années après l'environnement qu'elle désigne. En revanche, le Web3 se présente comme une rupture plus nette avec les deux phases d'avant. Ce terme a été forgé en 2014 par Gavin Wood, fondateur des blockchains Ethereum et Polkadot. Nombre d'entrepreneurs et investisseurs l'emploient désormais comme un mot « fourre-tout », ce qui est déjà le cas avec « intelligence artificielle » ou, justement, « blockchain ». Interrogé par le magazine américain *Wired* en novembre 2021, Gavin Wood peine d'ailleurs à rendre cette vision intelligible. « *Dans l'idée,* explique-t-il, *je pourrais devenir fournisseur ou cofournisseur d'un service comme Facebook dans son ensemble aussi facilement que n'importe qui d'autre dans le monde.* » Mais si le but est d'abattre les grands monopoles, « *difficile de savoir concrètement comment cela va se passer* », admet-il. Pour ne rien arranger, la notion de Web3 entretient la confusion avec le « Web 3.0 », à savoir le « Web sémantique ». Imaginé en 2001 par l'inventeur du Web, Tim Berners-Lee, le Web sémantique est une manière d'organiser les réponses à une requête en fonction de liens logiques entre diverses données grâce à des métadonnées. Ainsi, une page Web concernant Stephen Hawking, le célèbre astrophysicien britannique aujourd'hui décédé, pourrait être indexée avec la date de naissance du savant, son lieu de naissance, la chaire qu'il a tenue à l'université de Cambridge, la maladie dont il était affecté, etc. Les résultats de la recherche Internet y gagnent en pertinence (elle évite le hors-sujet, les problèmes d'homonymie, etc.), en structure et en richesse. Rien à voir, donc, avec le Web3.

Des noms de domaine décentralisés grâce aux NFT

Celui-ci est souvent décrit en association avec d'autres notions en vogue comme le métavers *(lire l'encadré ci-dessous)*. Ou mieux, les NFT (*non fungible token*, ou en français, jeton non fongible). Ces derniers sont des certificats générés sur une blockchain par un contrat intelligent, à savoir un programme informatique par lequel s'exécute une série d'instructions. Contrairement à une monnaie numérique, un NFT est unique, correspondant à la fois à un objet numérique (image, vidéo, texte, voire code informatique) et à l'identité de son détenteur. Or, ils font essentiellement parler d'eux en termes de spéculation et d'enchères. Par exemple, en mars 2021, le fondateur de Twitter Jack Dorsey avait vendu le NFT de son premier tweet 2,9 millions de dollars. Quand l'acquéreur a voulu le remettre sur le marché, tablant sur 46 millions de dollars, les enchères n'ont pas dépassé les 10 000 dollars… Autant dire qu'au premier abord, la notion de NFT ne contribue pas à crédibiliser celle de Web3. À tort, selon Renaud Lifchitz, directeur scientifique de la société de

IMMERSION

Métavers et Web spatial : l'internaute dans le virtuel

Devenue la priorité de Meta, le nouveau nom de la société mère de Facebook, le métavers remplace sites Web et applications en ligne par des espaces virtuels que l'internaute visite sous forme d'avatar (*voir* S. et *A. n° 898*). On ne consulte plus Internet : on entre dedans. Beaucoup d'acteurs (Epic Games, Microsoft) suivent cette orientation immersive. En revanche, le modèle d'un « Web spatial » reste à cheval entre réel et virtuel. Il s'agit d'ajouter une couche de réalité augmentée sur le monde physique (objets, environnement, personnes). Si ces deux visions peuvent se combiner à celle de la blockchain, elles impliquent surtout la mainmise de géants du numérique.

cybersécurité Holiseum et spécialiste de la blockchain : *« C'est peu connu, mais il est aujourd'hui possible de complètement décentraliser l'interface utilisateur d'un site ou service en ligne, son* backend [la partie logicielle inaccessible à l'internaute] *et la partie réseau. Le premier usage des NFT a ainsi concerné des noms de domaine décentralisés. »*

Il faut, pour comprendre, revenir au fonctionnement classique de l'adressage d'Internet. À l'origine, à la fin des années 1960, l'adresse d'un site est un identifiant consistant en une suite de chiffres, par exemple 13.33 243.9. C'est l'adresse IP. Lorsque Tim Berners-Lee invente le Web vingt ans plus tard, il rend la navigation plus aisée pour un utilisateur lambda : celui-ci va désormais sur des sites dotés d'une adresse Web, laquelle correspond à son adresse IP. Ainsi, au lieu d'aller sur 13.33 243.9, il va sur sciencesetavenir.fr. L'opération passe par des serveurs de noms de domaine, qui jouent le rôle d'un annuaire, connectant une adresse Web à une IP et, au bout de la chaîne, un site, une page, une application Web. Or, tout cela nécessite les infrastructures de prestataires techniques qui sont autant de passages obligés (par exemple Google ou OVH). Les noms de domaine décentralisés, eux, sont des NFT enregistrés dans une blockchain et non sur un seul serveur, la blockchain reposant sur un réseau d'ordinateurs d'utilisateurs. Concrètement, on trouve les extensions .eth, .bit, .blockchain, .coin, au lieu des habituels .com, .fr ou .org. Elles se trouvent quelque part sur divers nœuds (les ordinateurs) du réseau d'utilisateurs.

L'intégrité comme l'authenticité de tout le système sont garanties par la logique technique de la blockchain. *« Avec cette approche, il n'y a plus de point unique de défaillance, la redondance de l'hé-*

WEB3FOUNDATION

« Dans l'idée, je pourrais devenir fournisseur d'un service comme Facebook aussi facilement que n'importe qui d'autre dans le monde »

Gavin Wood, fondateur des blockchains Ethereum et Polkadot et inventeur du terme Web3

bergement est native », continue Renaud Lifchitz. Impossible de déconnecter un site, de le censurer. Tout est transparent car chaque utilisateur d'une blockchain peut voir ce qui s'y passe. Cette approche alternative s'adresse bien sûr à des utilisateurs qui gèrent un site, mais pas seulement : d'autres s'en servent pour accéder à leur « crypto wallet », c'est-à-dire le portefeuille virtuel dans lequel sont stockées leurs cryptomonnaies. Les navigateurs Internet Brave et Opera proposent des services de noms de domaine décentralisés par la blockchain.
L'approche est loin de se limiter aux noms de domaine. Le projet Arweave.org propose du stockage de données à vie sur une blockchain, sans risque de destruction ou de perte, à rebours des services type Google Cloud et Amazon Web Service. Là encore, les contenus sont distribués sur les espaces de stockage des utilisateurs du réseau, lesquels se paient entre eux dans la cryptomonnaie d'Arweave (l'AR). En juillet 2021, le géant du jeu vidéo Ubisoft est devenu un nœud d'un projet similaire, la start-up française Aleph.im.
Les données, justement. Éviter de les confier, plus ou moins volontairement, à Google ou Facebook reste la motivation principale de toutes ces initiatives. Non seulement pour en garder le contrôle, mais aussi parce que ces sociétés américaines peuvent être amenées à transférer aux États-Unis les données qu'elles captent dans d'autres pays. Rien d'étonnant, donc, à ce que l'on trouve des réseaux sociaux décentralisés, comme Steemit ou Mastodon, mais aussi du calcul informatique décentralisé permettant de s'affranchir d'une plateforme telle que Microsoft Azure, avec par exemple le projet français iExec. Le partage de ressources (bases de données, puissance de calcul, applications) y passe par des transactions en jetons numériques sur la blockchain Ethereum. En France, le CHU de Lille et Inria Lille ont expérimenté ce type d'approche sur des bases médicales de différents établissements. *« Le principe consiste à laisser les données où elles sont stockées mais de faire naviguer le calcul, et ce sont les coefficients du calcul qui vont être échangés »*, expliquait Antoine Lamer, datascientist au CHU de Lille, au site sciencesetavenir.fr en février dernier.

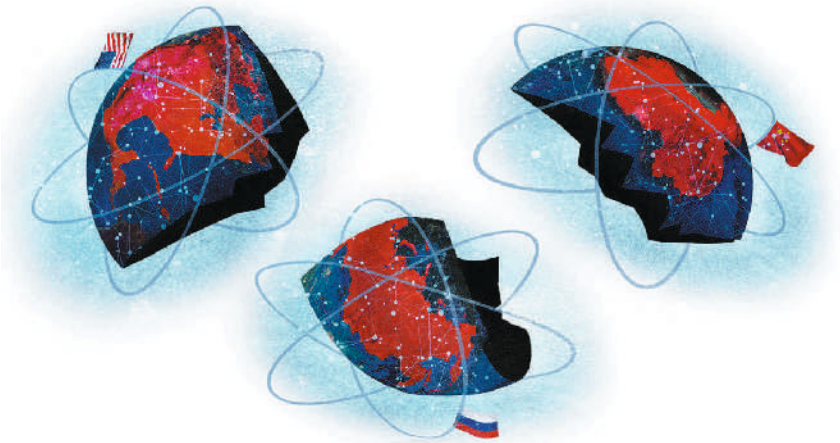
Des applications qui devraient se généraliser

Il reste que cet écosystème est encore marginal et implique une certaine familiarité avec la notion de blockchain. *« Mais il suffit soit d'un navigateur compatible (Brave, Opéra), soit d'une extension navigateur à installer, c'est assez transparent et non technique pour l'utilisateur,* insiste Renaud Lifchitz. *Ces applications sont encore assez rares mais devraient se généraliser.* » L'inventeur du Web lui-même apporte sa pierre. En 2018, Tim Berners-Lee a en effet cofondé la société Inrupt pour s'atteler à la maî-

GÉOPOLITIQUE

Splinternet, le spectre d'une planète avec plusieurs Internets

Contraction de « splinter » (éclat en français) et « internet », le terme Splinternet apparaît en avril 2001 dans le magazine *Forbes*. C'est l'idée d'un Internet fracturé en divers espaces étanches les uns par rapport aux autres, dans un contexte de rivalités géopolitiques entre notamment États-Unis, Chine, Russie et Union européenne. *« De plus en plus, les États ont une vision stratégique des standards de protocole Internet*, note Clément Perarnaud, coauteur d'un rapport commandé par le Parlement européen, publié en juin. *Chacun essaie de pousser sa solution en fonction de ses valeurs et de ses intérêts. »* Mais l'expert nuance : *« Internet, par définition, est déjà fragmenté. C'est un réseau de réseaux, des dizaines de milliers de systèmes autonomes reliés par des protocoles interopérables. »*
La vraie question réside dans ce qui amplifierait cette segmentation et sur quoi elle porte.
Il peut s'agir d'affecter l'architecture réseau, ou de censurer des contenus et des applications, sans modifier cette architecture. Le système d'adressage des sites internet (le DNS) peut aussi être modifié au point de créer des « silos technologiques ». *« Internet repose sur un DNS commun mais on voit des velléités de mettre en place des DNS nationaux*, poursuit Clément Perarnaud. *Mais l'interdépendance technique actuelle est telle et il existe tant de manières de contourner les obstacles qu'une vraie fragmentation d'internet n'est pas si simple à réaliser. »*



RÉGIS CHATELLIER

RESPONSABLE D'ÉTUDES PROSPECTIVES À LA COMMISSION NATIONALE DE L'INFORMATIQUE ET DES LIBERTÉS (CNIL)

Le défi de bâtir un métavers décentralisé

Quelles questions soulève la notion de métavers ?
Aujourd'hui, de ce que l'on en perçoit, un métavers répond à la même grille d'analyse que la réalité virtuelle. À savoir qu'une donnée personnelle correspond à tout ce qui est lié à votre compte, à votre avatar, dès lors que vous êtes vous-même relié à cet avatar : données d'identification, historique d'usage, *eye-tracking* [suivi des mouvements de l'œil face à l'écran], captation d'émotions, etc. Si des métavers permettent aux gens de collecter des données, il faudra savoir comment identifier à qui on a affaire : une personne lambda, une entreprise, une organisation ?
Cela étant, il reste la question des acteurs qui gèrent et contrôlent l'accès. Avec Horizon Workrooms de Meta, Mesh de Microsoft ou des espaces comme Decentraland ou The Sandbox, le contexte n'a rien d'inédit : c'est celui du début d'une nouvelle concurrence pour prendre le marché.

Decentraland et The Sandbox sont des plateformes dites décentralisées. Cette approche peut-elle donner à l'internaute un certain contrôle ?
Lorsqu'on commence à vendre des espaces virtuels associés à des droits de propriété grâce à des NFT (jetons non fongibles), il y a une forme de décentralisation. Mais si la plateforme dans sa globalité, du jour au lendemain, ferme, ces contenus n'ont plus aucune valeur, ils n'existent plus. Car au fond, il y a toujours une infrastructure. Il existe certes des réseaux sociaux où il est possible d'héberger sa propre instance, Mastodon par exemple. Mais ce sont des infrastructures assez légères par rapport aux ressources qu'il faudra mobiliser pour un métavers. On peut toujours imaginer des instances en local qui communiquent et sont interopérables, mais on en est encore loin.
Propos recueillis par A. D.

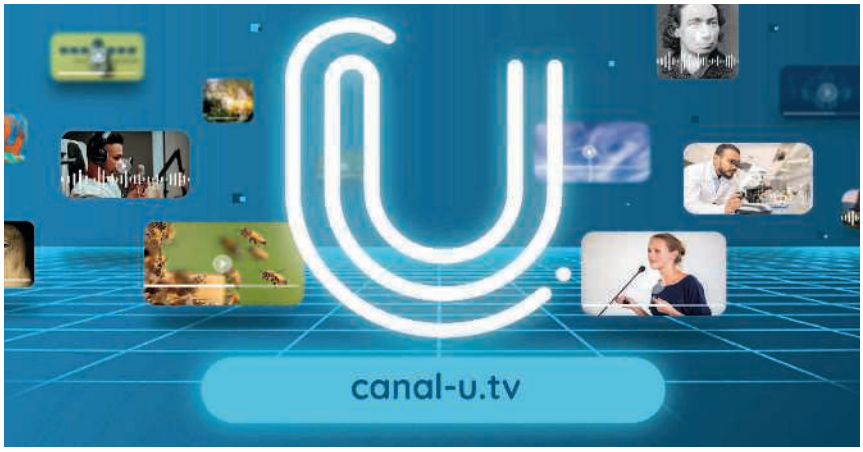
CNIL

trise de ses données par l'internaute. Cette fois, la solution proposée n'a rien à voir avec la blockchain. Développée à partir de technologies sur lesquelles l'informaticien a travaillé au Massachusetts Institute of Technology (États-Unis), elle consiste en un espace numérique verrouillé, le PODS *(personal online data store)*, qui peut se trouver sur un smartphone, un ordinateur, un serveur distant, et où sont stockées ses données personnelles. Au moment de se connecter à un service en ligne, l'internaute décide lesquelles il accepte de fournir et à qui. Ce qui veut dire aussi que le PODS est interopérable avec toute application, tout service Internet ou mobile.

Le principe même du PODS est une forme de décentralisation mais sans modifier l'architecture d'Internet et du Web. *« Les règles d'accès aux données représentent juste une extension des standards ouverts qui font fonctionner le Web actuel,* indique Kelly O'Brien, un des dirigeants d'Inrupt. *Si vous utilisez un navigateur Internet, vous pouvez utiliser un PODS.* »
Les données rassemblées par l'utilisateur ne quittent jamais ce PODS, elles ne sont pas transférées sur les serveurs de ceux qui y ont accès.
En tant que projet pilote, un tel espace est proposé par le gouvernement flamand à ses administrés, en Belgique, ou par le National Health Service britannique à ses patients pour leurs données de santé, ou encore par la BBC pour sa recommandation de contenus médias. Reste à savoir là encore si ce genre d'approche peut être adoptée et déployée massivement. D'abord parce qu'elle est très technique. Mais aussi parce qu'elle contrecarre radicalement des pans entiers de l'économie d'Internet et qu'elle risque de se heurter à nombre de réticences. Mais l'idée est bien là : cesser d'assimiler l'internaute à une valeur marchande, voire une matière première, pour que l'Internet du futur ressemble un peu plus à celui des origines. ■

À LA FMSH, NOUS SOMMES DES PASSEURS DE SAVOIRS

Depuis janvier 2021, la Fondation Maison des sciences de l'homme (FMSH) fait peau neuve. Renouant avec les missions et valeurs qui l'animent depuis sa création, elle s'attache à renforcer son action en faveur de l'internationalisation de la recherche et de la diffusion des connaissances. Plus que jamais, la FMSH s'affirme comme une fondation sans les murs, ouverte aux quatre vents de la recherche dédiée aux sciences humaines et sociales.



Quand la FMSH ouvre ses portes le 4 janvier 1963, elle ouvre aussi un chemin à la recherche consacrée aux sciences humaines et sociales et à leur diffusion. Une quarantaine de disciplines, toutes préoccupées par l'humain et ses interactions avec ce qui l'environne. Soixante ans plus tard, la fondation qui a su créer des espaces et des ponts pour permettre le dialogue et les échanges entre les disciplines, les regards et les cultures, est plus que jamais à la pointe d'une recherche originale, innovante et humaniste. C'est que la FMSH a l'amplitude, la souplesse et la liberté des institutions de recherche à taille humaine : *« À la FMSH, nous travaillons sur les nouvelles frontières de la recherche académique, nous cherchons à apporter ce qui ne se fait pas ailleurs »,* souligne Hélène Velasco, la présidente du directoire de la Fondation. *« Nous apportons notre soutien à des chercheurs et à des chercheuses qui sont d'abord des individus à accompagner au plus près. Nous travaillons à leurs côtés, nous les aidons à tester, nous leur apportons nos compétences avant de passer la main. La FMSH est un lieu d'incubation, les thématiques novatrices, portées par des énergies vives, éclosent plus souplement que dans les contraintes académiques institutionnelles. »*

LE FONDS ÉDITORIAL DE FMSH DIFFUSION/ DISTRIBUTION EN CHIFFRES

- *30 000 références (ouvrages & revues)*
- *600 nouveautés par an*
- *50 éditeurs publics et presses universitaires diffusés*
- *85 éditeurs en vente*
- *14 champs disciplinaires*

www.lcdpu.fr

CANAL-U EN CHIFFRES

- *280 chaines*
- *38 000 ressources vidéo et audio*
- *23 000 heures de programme*
- *200 nouveautés par mois*
- *7 entrées thématiques*
- *20 ans d'existence*

www.canal-u.tv

La FMSH, un soutien à une recherche SHS sans frontières

En soixante ans, afin de promouvoir les sciences humaines et sociales à l'échelle mondiale, la FMSH a tissé un réseau dense de partenaires nationaux et internationaux et a mis en œuvre nombre de dispositifs pour permettre aux chercheurs et aux savoirs de jouer les passe-murailles et de traverser les frontières. Une circulation qui est l'une des raisons d'être de la Fondation : en soutenant l'internationalisation de la recherche, la FMSH agit en faveur d'une recherche débarrassée des barrières de la langue et innovante. Comme le rappelle Pascal Buléon, vice-président au sein du directoire de la FMSH : *« L'une des missions de la Fondation est d'intensifier les collaborations scientifiques internationales en créant des réseaux de recherche destinés à éclairer les angles morts de la recherche, autour de thèmes liés aux grands défis sociétaux, saisis avec une perspective qui ne soit pas européocentriste. »* En portant une attention particulière aux chercheurs étrangers empêchés dans l'exercice de leur métier, voire menacés, la FMSH œuvre aussi pour la défense de l'autonomie de la science qui subit de nombreuses entorses dans un certain nombre de pays du monde.

Des services indispensables à la diffusion des savoirs

À la FMSH, où s'initie et se fabrique une recherche libre de tout joug, a été conçu un ensemble unique de services ouverts à tous, dédiés à la valorisation et au partage de la connaissance en sciences humaines et sociales, par-delà les langues et les frontières : *« Porter à la connaissance d'un public francophone les résultats de la recherche en SHS est une mission majeure de service public. Avec ses 1 000 titres au catalogue, et à travers ses revues et collections, les Éditions de la MSH développent depuis les années 70, un catalogue original en sciences humaines et sociales, lequel recueille des publications scientifiques conjuguant le papier et le numérique pour enrichir le débat des idées. Elles sont un instrument majeur au service de la diffusion des savoirs. Le lancement de nouvelles collections ouvertes sur le monde - "Afriques(s)", "Amérique(s)" "Asie(s)"- renforcera cette dynamique. Parallèlement, FMSH Diffusion/Distribution en commercialisant plus de 80 presses d'université et éditeurs publics, permet à la connaissance en SHS d'exister et de rencontrer un public croissant »* rappelle Pascal Buléon. *« À ces dispositifs très larges nous avons ajouté des espaces et des lieux de rencontres, physiques et/ou virtuelles. »*

Le comptoir, un lieu de passages et de croisements

Jusqu'en 2020, et son transfert au sein du Grand Équipement Documentaire du Campus Condorcet, la FMSH a abrité en son premier étage l'une des plus grandes bibliothèques en sciences humaines et sociales. Pour conserver l'esprit originel de ce lieu chargé d'histoires, la FMSH va ouvrir au 4ème trimestre 2022 un espace pour exposer et vendre les ouvrages de ses 85 éditeurs publics. À la fois le relais physique du site marchand « Le Comptoir des presses d'universités » mais aussi un espace de découverte des 30 000 références d'ouvrages et de revues commercialisées par le service diffusion/distribution de la FMSH : *« Au Comptoir, cohabiteront aussi bien les nouveautés que les ouvrages érudits, introuvables bien qu'ils existent depuis toujours, et dont la FMSH assure le stock pour des raisons de mission de service public. On pourra aussi y trouver des livres qui ont connu en leur temps des succès de librairie et des ouvrages qu'aucun éditeur privé n'aurait pris le risque de publier, comme le premier volume de la Monographie de la grotte Chauvet-Pont d'Arc, édité en collaboration avec le Ministère de la Culture... et épuisé au bout de deux mois. Seul un éditeur à vocation scientifique, qui n'a pas le souci de la seule rentabilité de court terme, est en mesure de réaliser de telles prouesses éditoriales. »* À cet espace de vente d'ouvrages et de revues sera associé un lieu d'échanges entièrement dédié aux activités de recherche en sciences humaines et sociales, agora dotée d'une riche programmation scientifique et culturelle : *« La Fondation est un lieu de passage très important. Face à l'espace de vente, le Forum accueille depuis 2018 des événements et cycles de rencontres scientifiques proposés à un large public : présentations d'ouvrages, rencontres thématiques, conférences, signatures; la programmation événementielle s'enrichit sans cesse pour offrir aux visiteurs des rendez-vous privilégiés avec le monde des sciences humaines et sociales. »*

Canal-U : Une plateforme audiovisuelle dédiée à la diffusion et la communication scientifique, engagée pour la science ouverte

Depuis sa création en 2001 par la communauté universitaire, Canal-U propose un patrimoine audiovisuel scientifique de référence, donnant à voir et à entendre la science d'hier et d'aujourd'hui. En développant des fonctionnalités de partage et de consultation toujours plus riches, la plateforme entend participer à la démocratisation des savoirs. Entièrement pensée pour répondre aux principes du FAIR (Facile à trouver, Accessible, Interopérable et Réutilisable), elle est, depuis ses premiers pas, d'avant-garde : *« La FMSH a été l'une des premières institutions en France à introduire l'image dans le champ scientifique*, rappelle Pascal Buléon. *Aujourd'hui, ce Canal-U porte cette forme d'écriture, images et sons de la connaissance produite dans les universités et les institutions de recherche. Son objectif est de diffuser les recherches dans tous les domaines : celles des sciences humaines et sociales, mais aussi des sciences de la matière, des sciences du vivant, de la nature et des technologies. »* Avec plus de 280 chaines et 23 000 heures de programme, la plateforme Canal-U propose en libre accès un fonds audiovisuel pluridisciplinaire et richement documenté pour explorer et partager la science de manière vivante, collaborative et interactive. Ouverte à toutes les institutions productrices de savoirs - universités, laboratoires, bibliothèques, associations savantes, musées, fondations - elle permet la création facile, gratuite et sans obligation d'exclusivité, d'une chaine destinée à héberger, structurer, diffuser et valoriser des ressources vidéo audios : entretiens, conférences, colloques, cours, podcasts... À la grande différence d'autres services du net très populaires, les documents sont tracés, leur origine et fiabilité identifiables, ont leurs métadonnées renseignées, la propriété reste celle des chercheurs, etc. Canal-U met à disposition de tous les publics, en accès libre et gratuit, un environnement sans publicité, pérenne et sécurisé, parfaitement intégré à l'écosystème de l'enseignement supérieur et de la recherche.

LEVER DES FONDS POUR DOPER LA RECHERCHE EN SCIENCES HUMAINES ET SOCIALES

En complément des financements de l'Etat qui permettent à la FMSH de mener à bien ses missions, la Fondation dans le fil de sa tradition, travaille à chercher d'autres ressources qui lui permettent d'apporter des soutiens financiers substantiels aux recherches jugées particulièrement stratégiques et innovantes. Dans les habitudes françaises, le financement de la recherche par les organisations philanthropiques, les particuliers et le secteur privé en général, sont trop peu répandus. La FMSH souhaite donner une impulsion nouvelle à sa politique de levée de fonds. Capitalisant sur son réseau existant, ainsi que sur l'expérience acquise auprès des entreprises françaises et des grandes fondations européennes et américaines, elle souhaite désormais faire appel à la générosité du public. « En tant qu'organisme reconnu d'utilité publique, rappelle Hélène Velasco, présidente de la FMSH, nous pouvons faire appel à des dons pour aider les chercheurs et accompagner la recherche ». Cette générosité peut prendre la forme de dons, de legs ou de donations rappelle Pascal Buléon : « En France, beaucoup décident de léguer tout ou partie de leur patrimoine à une fondation reconnue d'utilité publique et de mettre leur héritage au service d'une cause porteuse de sens. La FMSH les accompagne pour offrir un moyen de soutenir concrètement la recherche en SHS».

4 boulevard Raspail, 75006 Paris, France
www.fmsh.fr | @FondationMSH
Contact presse : Charlotte Solnitzki

MICHAEL WEBER / BIOSPHOTO

Haut de 55 à 65 cm, « Felis silvestris silvestris » peut atteindre un poids de 5 kg pour un mâle. Avec son pelage gris à fauve clair rayé sur les flancs et sa queue touffue, il se distingue aisément du chat domestique.

Le retour du chat sauvage

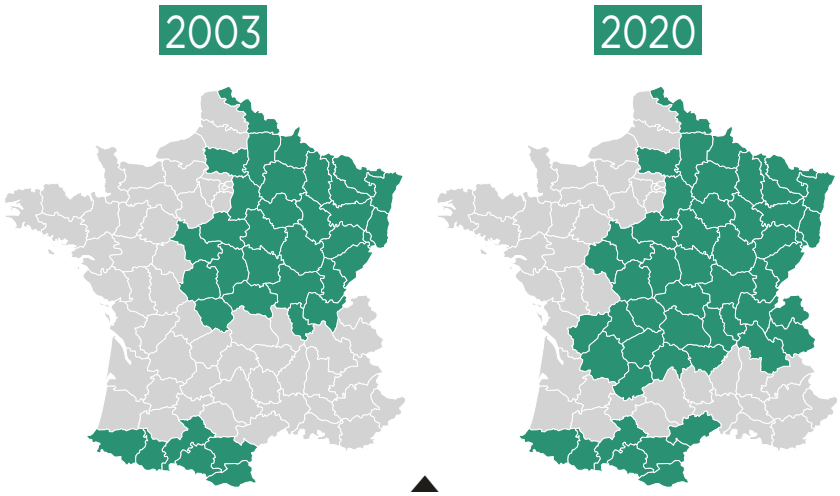
Il avait presque disparu du territoire français, persécuté car perçu comme une bête démoniaque. Mais le chat sauvage prend aujourd'hui sa revanche et regagne du terrain. Nous sommes allés à la rencontre des scientifiques qui cherchent ses traces et tentent d'éviter les amours avec les chats domestiques.

Par Loïc Chauveau @Loic_Chauveau

Bientôt dix ans de traque. Dix ans que Maxime Belaud, qui travaille pour l'association Nature en Occitanie, parcourt les zones forestières de l'Aude, des Pyrénées-Orientales, de l'Hérault, de l'Aveyron et du Tarn, à la recherche d'un petit carnivore très discret, le chat sauvage d'Europe ou chat forestier. Génétiquement distinct de tous nos chats domestiques, *Felis silvestris silvestris* revient. Et la bonne nouvelle, c'est que les deux populations qui ont échappé aux massacres des XIXe et XXe siècles sont en train de se rejoindre. Les chats de Lorraine vont se mêler à ceux des Pyrénées. « *Bientôt, l'aire de répartition de l'espèce partira de l'Espagne pour aller jusqu'en Allemagne, ce qui est bon pour le brassage génétique* », salue Maxime Belaud.

Si, au cours d'une promenade, vous croisez ce gros chat (ce qui est rare tant l'animal fuit les humains), vous le reconnaîtrez à son pelage gris à fauve clair, aux rayures sur les flancs, à sa bande noire dorsale tout au long du corps et à une queue touffue avec deux à quatre anneaux noirs complets et une terminaison noire. Mais aussi à sa taille : haut de 55 à 65 centimètres et d'un poids de plus de 5 kg pour un mâle, 3,5 kg pour une femelle. Où le voir ? Il fréquente de préférence les zones boisées, mais peut s'aventurer sur des terres agricoles s'il y est attiré par la pitance. Il mange des mulots, des rats, des campagnols, des lapins, de petits oiseaux et même

Une présence de plus en plus étendue en France



BRUNO BOURGEOIS - SOURCE: OFB

« Felis silvestris silvestris » recolonise le territoire dont il avait été chassé aux XIXe et XXe siècles, à partir des régions pyrénéenne et lorraine où l'espèce avait pu se maintenir.

des écureuils, qu'il attrape par les pattes avant tout en plantant ses canines à l'arrière du cou. L'hiver, lorsque le gibier manque, il devient charognard. Comme nos chats domestiques, il broute de l'herbe pour s'aider à digérer. « *C'est un mode de vie que l'on étudie depuis les années 1960 seulement, et les travaux de recherche ne se sont intensifiés qu'à partir de la fin des années 1980, quand l'espèce a quitté son statut de nuisible pour être strictement protégée par les lois française et européenne* », précise François Léger, récent retraité de l'Office français de la biodiversité où il était directeur de recherche et spécialiste de *Felis silvestris*.

Un animal diabolisé et pourchassé, désormais protégé

Car ce chat dit sauvage a été pourchassé dans toute la France dès le Moyen Âge, où on le considérait comme une bête féroce et démoniaque. La chasse s'est intensifiée au XIXe siècle « *en partie pour sa fourrure, mais aussi parce qu'il était considéré comme porteur de maladies comme la rage, et concurrent de la chasse pour le petit gibier* », raconte François Léger. Les gardes champêtres touchaient ainsi des primes pour chaque dépouille. De plus, la France du XIXe siècle était très exploitée par l'agriculture, si bien que les bois, son milieu naturel, avaient fortement régressé. Pourchassé et privé de son lieu de vie favori, le chat forestier a progressivement disparu d'une grande partie du territoire français pour ne plus prospérer que sur des pentes peu propices aux cultures du piémont pyrénéen et des forêts de Lorraine. Cantonnée à quelques espaces relictuels et victime de consanguinité, l'espèce a failli disparaître de France. Autrefois étendue de la Russie au Portugal et de l'Écosse au Moyen-Orient, son aire de répartition s'est fragmentée partout sur le continent eurasien. Aujourd'hui, l'Union internationale de conservation de la nature (UICN) ne considère pas l'espèce en danger de disparition, mais elle fait l'objet d'un statut de protection tant par l'Union européenne que par la France.

PATRICE RAYDELET / NATURIMAGES

En identifiant ses empreintes, les chercheurs tentent de définir le parcours de reconquête du chat forestier.

L'espèce recolonise les terres grâce aux jeunes mâles

Une des raisons de sa fragilité est que ce chat a besoin d'espace. « *Comme souvent chez les félins, mâles et femelles sont des solitaires qui ne se rencontrent que pour l'accouplement. Un mâle a besoin d'un territoire de 500 hectares et une femelle de 200* », détaille Christian Arthur, qui, à la Société française pour l'étude et la protection des mammifères (SFEPM), prépare le troisième tome (sur sept) de l'*Atlas des mammifères sauvages de France*, ouvrage collectif édité par le Muséum national d'histoire naturelle. Si le territoire d'un mâle peut couvrir partiellement celui de plusieurs femelles, ceux des mâles en revanche ne se recoupent jamais. C'est ainsi que l'espèce recolonise la France : les jeunes doivent aller chercher domicile et nourriture à l'extérieur du domaine du géniteur. « *Voilà pourquoi nous recherchons des traces dans ces zones de colonisation où le chat peut être de retour* », explique Maxime Belaud. En 2020, l'Office français de la biodiversité (OFB) a officialisé sa présence dans la réserve nationale de chasse et de faune sauvage du massif du Caroux-Espinouse, dans le nord de l'Hérault, et a estimé qu'il pourrait aussi être présent en montagne Noire. Tout comme les agents de l'OFB, Maxime Belaud tente ainsi de définir le front de reconquête. Ce qui est compliqué dans des espaces de garrigues et de friches redevenus forêts denses de chênes verts et d'arbousiers du fait de l'abandon des terres. « *Nous utilisons des pièges attractifs, notamment à base de valériane qui semble faire un fort effet sur eux, pour les amener dans des lieux où nous avons fixé des appareils photo*

PALÉOGÉNÉTIQUE

Pourquoi les chats sont apprivoisés et non domestiqués

Le genre *Felis* n'est pas scientifiquement établi et les évaluations varient sur le nombre de sous-espèces issues d'un ancêtre commun vieux de 200 000 ans seulement. Cinq branches interfertiles sont généralement dénombrées. Outre le chat forestier d'Europe (*F. silvestris)*, les chercheurs distinguent le chat forestier d'Afrique ou ganté (*F. s. lybica)*, le chat forestier d'Asie dit orné (*F. s. ornata*), le chat forestier d'Afrique du Sud (*F. s. cafra)* et le chat du désert de Chine (*F. s. bieti)*. D'où provient notre compagnon *Felis catus*? En 2020, les spécialistes d'ADN ancien Eva-Maria Geigl et Thierry Grange de l'Institut Jacques-Monod (CNRS/ université Paris-Diderot) ont analysé le génome de 230 chats, de -10 000 ans, pour les restes les plus vieux, à aujourd'hui. Et leurs conclusions sont sans appel : le chat domestique descend de *F. lybica*, celui d'Afrique. Le résultat confirme les hypothèses provenant de découvertes archéologiques, notamment celle d'un squelette de chat mis au jour dans la tombe d'un enfant sur l'île de Chypre, datant de -7500 ans. « *Avec l'agriculture inventée au Moyen-Orient, l'humain accumule des grains qui attirent les rats, eux-mêmes suivis des chats qui de plus se nourrissent de serpents venimeux et de scorpions,* raconte Eva-Maria Geigl. *C'est un échange de services.* » Au néolithique, les migrations de l'humain vers l'Europe à travers le bassin méditerranéen se font donc en compagnie du chat. Une deuxième vague intervient au cours de l'Antiquité, due à l'engouement des Grecs et des Romains pour le chat égyptien issu de *F. lybica*, qui fait même l'objet d'élevage pour être momifié lors des cérémonies religieuses de l'ère ptolémaïque, entre 350 et 30 avant J.-C. et la conquête romaine. Difficile d'affirmer cependant si c'est le chat qui a suivi l'humain ou bien l'humain qui l'a emporté avec lui. « *La pression de sélection de l'humain sur ce félin est faible parce qu'il lui demande peu,* poursuit Eva-Maria Geigl. *On n'apprend pas à un chat à chasser les souris.* » C'est pourquoi, le terme de domestication, qui implique un processus long pour obtenir d'un animal un aliment (chair, lait, œuf) ou un service comme pour le chien, n'est peut-être pas applicable pour le chat qui ne serait qu'apprivoisé. Cela explique que *Felis catus* revienne si facilement à la vie sauvage. « *D'autant que depuis 2000 ans qu'ils se côtoient,* F silvestris *et* F. lybica *ont eu de nombreuses occasions de s'hybrider. Il y a une part non négligeable de sauvage chez votre chat domestique* », s'amuse Eva-Maria Geigl.

> « La pression de sélection de l'humain sur ce félin est faible. On ne lui apprend pas à chasser les souris »
> **Eva-Maria Geigl,** paléogénéticienne à l'Institut Jacques-Monod, à Paris

THE TRUSTEES OF THE BRITISH MUSEUM / THE BRITISH MUSEUM, LONDRES, DIST. RMN-GRAND PALAIS

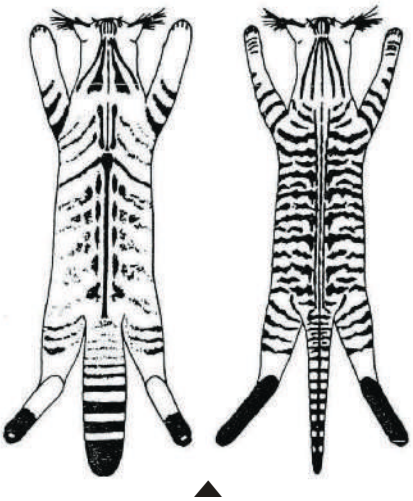
◄ **Compagnon de l'humain** depuis le néolithique, vénéré par les anciens Égyptiens, le chat était massivement momifié sous l'ère ptolémaïque (332-30 avant J.-C.).

afin de les identifier, poursuit Maxime Belaud. *Les poils récupérés nous fournissent une empreinte génétique de l'animal permettant de le distinguer d'un chat domestique.* » Le problème actuel des chats de l'Aude, c'est l'autoroute A9, qui forme une barrière difficilement franchissable entre Toulouse et la Méditerranée. L'association, qui a récupéré un cadavre de chat forestier sur ce large ruban de bitume, entend faire des propositions pour améliorer l'efficacité des passages à faune qui ne semblent pas fonctionner pour ce félin, notamment en faisant pousser un couvert arboré reliant le passage aux zones naturelles proches.

Malgré tout, nombreux sont ceux qui ont réussi à trouver un passage ou à traverser de nuit. *« Dans les prochains mois, nous allons porter nos efforts de détection sur l'Aveyron et notamment l'Aubrac, car s'il est présent dans cette région, cela signifie que le contact avec les chats provenant du noyau lorrain est proche* », se réjouit Maxime Belaud. De l'autre côté de la France, en effet, le chat forestier a progressé encore plus vite, colonisant en moins de quatre décennies la partie nord et centrale du Massif central, la partie nord du massif alpin, poussant même ses pattes vers la Champagne-Ardenne, les Hauts-de-France et le Centre.

Une hybridation avec des chattes redevenues sauvages

Avec ce retour, Nature en Occitanie s'inquiète d'un autre phénomène : l'hybridation avec les chats domestiques. De très récentes analyses comparatives des génomes des différentes sous-espèces de chat *(lire l'encadré p. 55)* ont démontré que les 15 millions de *Felis catus* — le nom scientifique du chat qui peuple nos demeures — sont issus de la souche moyen-orientale *Felis silvestris lybica*. Mais le patrimoine génétique est suffisamment proche de celui du chat forestier pour que les deux espèces soient interfertiles et donnent naissance à des chatons qui le seront également. *« Or les chats ne sont pas toujours très surveillés par leurs propriétaires, surtout dans les petits bourgs et villages, et le phénomène de retour à la vie sauvage est fréquent,* redoute Maxime Belaud. *Le chat étant très territorial, on pense que l'hybridation se fait principalement par un mâle forestier avec une femelle redevenue sauvage, car un mâle domestique a toutes les chances de se faire expulser des territoires tenus par les* silvestris. »



CROQUIS CLAUDE POIVRE – EXTRAIT DE B. CONDÉ, 1979

Le pelage du chat sauvage (à gauche), qui possède une bande dorsale noire unique, a moins de rayures latérales que celui du chat domestique tigré (à droite).

Combien de ces chats dits harets ont réellement rencontré le chat forestier ? La question est en cours d'étude.

Les distinctions entre chat forestier, chat domestique et hybride se sont longtemps faites sur des caractères morphologiques et anatomiques : le pelage, l'intestin qui est plus long chez le forestier, et la boîte crânienne qui est plus grosse, la domestication provoquant chez toutes les espèces concernées une diminution de la taille du cerveau.

Des craintes pour la conservation de l'espèce

La génétique autorise désormais des comparaisons plus précises, qui permettent de bien caractériser l'intégrité de la sous-espèce *silvestris*. Elles confirment pour l'instant l'existence d'une population de chats forestiers bien distincts des chats domestiques. Mais des examens génétiques effectués au Laboratoire de biométrie et de biologie évolutive (université Lyon-I/CNRS) sur des échantillons restreints de cadavres montrent néanmoins des taux élevés d'hybridation. *« 70 % des individus que nous avons apportés au laboratoire lyonnais étaient hybrides de* lybica », regrette Maxime Belaud. De quoi nourrir des craintes sur la conservation de *Felis silvestris silvestris*. Aussi, Nature en Occitanie a entrepris dès cet été de visiter les bourgs et villages les plus proches des zones de présence pour inciter les propriétaires de chats à les faire stériliser, d'autant que ces rencontres pourraient favoriser les maladies que sont la panleucopénie, le typhus du chat et la maladie de Carré.

Si la reconquête de vastes régions françaises se confirme, quel sera l'impact du retour du chat sauvage sur la biodiversité ? *A priori* positif. En effet, la recolonisation de la France par les carnivores que sont le loup, le lynx et le chat est le signe qu'une chaîne alimentaire complète est en train de se reconstituer. Fermant la parenthèse d'une France qui a tenté d'éradiquer le sauvage. ■

MAXIME BELAUD

« Les chats ne sont pas toujours très surveillés par leurs propriétaires et le phénomène de retour à la vie sauvage est fréquent »

Maxime Belaud, chargé d'études mammifères à l'association Nature en Occitanie

FREDERIC OSADA/DRASSM/STANFORD

Ocean One K, capable de descendre à 1 km de profondeur, explore ici l'épave du « Francesco-Crispi », coulé en Méditerranée en 1943.

Un humanoïde dans les abysses

Un robot a plongé cet été au large de la Corse à des profondeurs inaccessibles aux chercheurs. Sa mission : explorer des épaves menacées par le chalutage, mais aussi mieux comprendre les coraux abyssaux.

Retour en Corse pour Ocean One K en ce début de juillet. Au large d'Aléria, le robot humanoïde de 2 mètres de long a d'abord exploré une épave romaine par 330 mètres de fond, où ses mains aux doigts articulés ont pu prélever délicatement des lampes à huile qui gisaient dans les sédiments marins. Les plongées suivantes l'ont ramené sur l'épave du *Francesco-Crispi*, déjà explorée en février. Retrouvé en 2015, ce paquebot avait été coulé en 1943 par un sous-marin anglais avec 900 soldats italiens à son bord. Aujourd'hui, *« l'épave trône en majesté par 500 mètres de fond,* décrit Michel L'Hour, ancien directeur du Département des recherches archéologiques subaquatiques et sous-marines (Drassm). *Si ses derniers voyages ont été militaires, on ne voit plus maintenant qu'un navire conçu dans les années 1920 pour l'agrément, avec ses grands hublots, ses ponts, ses coursives. C'est aussi une montagne de ferraille dévorée par les bactéries et couverte de superbes coraux qui forment par endroits des massifs immenses. »*

Découvrir ces coraux abyssaux méconnus *(lire l'encadré p. 59)* était l'un des objectifs de cette mission. Ainsi, pendant qu'Ocean One K se faufilait dans les coursives du pont supérieur avec une perche d'éclairage pour aller filmer le grand salon du navire, un autre robot nommé Arthur était chargé de prélever avec une pince des échantillons de ces récifs, une première pour l'engin à cette profondeur. « *Nous avons travaillé avec trois robots en même temps,* raconte Michel L'Hour. *Ce qui était inimaginable il y a encore peu de temps est en train de devenir une routine.* »

MICHEL L'HOUR

« Ces épaves représentent les réserves archéologiques des musées futurs, une sorte de graal jusque-là inaccessible »

Michel L'Hour, archéologue, ancien directeur du Département des recherches archéologiques subaquatiques et sous-marines (Drassm)

Des yeux-caméras et des bras équipés de gants tactiles

Cette révolution dans l'exploration des épaves et des environnements des grandes profondeurs, Michel L'Hour l'appelle de ses vœux dès 2006, alors qu'il vient d'être nommé à la tête du Drassm. Depuis le début de sa carrière dans les années 1980, il constate que de plus en plus d'objets sont remontés des grandes profondeurs par les pêcheurs. « *Dans les abysses, les épaves sont protégées de la houle, de la visite de plongeurs, des pillages et pendant longtemps elles l'ont été des chaluts,* souligne-t-il. *Elles y souffrent également moins des phénomènes de corrosion et de l'action des vers marins qui dévorent le bois dans les eaux plus chaudes. Ces épaves représentent pour les chercheurs les réserves archéologiques des musées futurs, une sorte de graal jusque-là inaccessible.* » Mais au tournant des années 2000, les chalutages gagnent des profondeurs de plus en plus grandes, fournissant les étals en poissons abyssaux comme le grenadier. « *Les épaves des grands fonds sont maintenant en grand danger : en quatre secondes, le temps de passage d'un chalut, elles peuvent être pulvérisées, les vaisselles brisées, les pièces de bois explosées* », s'alarme l'archéologue. En 2012, le Drassm se dote d'un navire de recherche archéologique, l'*André-Malraux*, équipé d'un portique permettant la mise à l'eau d'engins de 7 tonnes. Mais les robots sont encore patauds, incapables de reproduire la gestuelle précise et intuitive de l'archéologue. Une étape cruciale est franchie en 2014 lorsque Michel L'Hour rencontre Oussama Khatib, professeur d'informatique et de robotique à l'université Stanford (États-Unis). Le chercheur et son équipe y développent des « *robots pour des environnements inconnus, pour des manipulations nécessitant le sens du toucher, des compétences d'assemblage de structures complexes dans l'océan ou des tâches dangereuses sur les câbles électriques,* précise-t-il. *Afin de mener ces actions délicates, le professionnel contrôle le robot à distance.* »
S'éloignant des robots rectangulaires dif-

FREDERIC OSADA-DRASSM-STANFORD

◄ **Depuis le poste de contrôle** du navire « Alfred-Merlin », les chercheurs équipés de lunettes 3D suivent les images transmises par le robot.

ficiles à manipuler du fait de leurs angles aveugles, les chercheurs travaillent à la mise au point d'un robot humanoïde, plus facile à manœuvrer. *« Pour transposer dans les grandes profondeurs le savoir-faire mis en œuvre par un archéologue en surface, deux sens sont essentiels : la vue et surtout le toucher,* souligne Michel L'Hour. *Une bouteille en verre fêlé n'a pas la même vibration quand on la tapote qu'une bouteille intacte.* » Les scientifiques de Stanford déploient alors toute leur ingéniosité pour reconstituer cette compétence sous l'eau et la transmettre à des gants de manipulation. Lors de la plongée de juillet, les sensations transmises à travers ces gants permettaient de « ressentir » la pression de l'eau, le contact avec l'objet et son poids ! Dans le PC robotique — une salle réservée au pilotage des robots — du nouveau navire *Alfred-Merlin* mis à l'eau en juillet 2021, des lunettes 3D transmettent à l'opérateur les images enregistrées par les yeux-caméras du robot, ce qui permet de réagir à toute situation délicate ou intéressante scientifiquement.

Créer l'« avatar abyssal » d'un archéologue

Lorsqu'il lance son programme d'archéologie des abysses, Michel L'Hour annonçait à ses équipes : *« Dans dix ans nous irons sur la Lune ! »* Et effectivement, en avril 2016, lors de sa première campagne d'essai, Ocean One réalisait sa première plongée en mer sur *La Lune,* un bateau de la flotte de Louis XIV qui a sombré en 1664 au large de Toulon et gît aujourd'hui par 91 mètres de fond. *« Une profondeur idéale pour cette première version conçue pour descendre jusqu'à 100 mètres maximum, à cause de ses flotteurs lui permettant de lutter contre la gravité »*, note Oussama Khatib. Dès ses premières plongées, le robot se déplace et s'adapte aux courants grâce à ses huit moteurs à hélice horizontaux et verticaux.

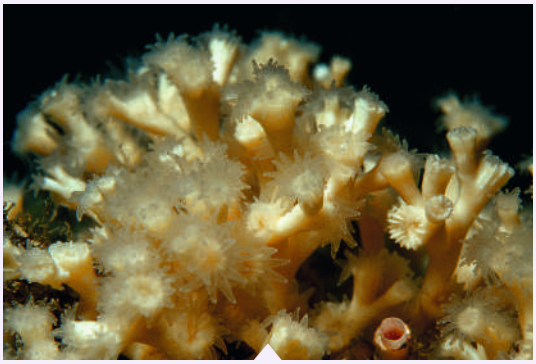
La nouvelle version de l'humanoïde mise à l'eau cette année, Ocean One K (K pour 1 km) a désormais la capacité de plonger à 1000 mètres de profondeur. *« Il a fallu résoudre le problème de la pression, qui pouvait écraser le corps du robot,* explique Oussama Khatib. *Nous avons donc utilisé un matériau, plus résistant : une mousse dite syntactique, dans laquelle sont incorporées des microsphères creuses en oxyde de silicium.* » Quant aux bras, leur forme est préservée en y injectant de l'huile à la même pression que celle de la profondeur atteinte. *« Cette dernière mission signe la fin d'un cycle de huit ans de quête en vue de créer un avatar abyssal d'archéologue,* conclut Michel L'Hour. *Mais nous ne nous en contenterons pas. Cette machine est certes étonnante, comme l'est un enfant de 3 ans qui marche. Il faut désormais faire grandir ce robot pour en faire un marathonien.* » ■

Sylvie Rouat @srouat1

CORAUX ABYSSAUX

Un étonnant refuge de biodiversité

Les images de l'épave *Francesco-Crispi* enregistrées par Ocean One K ont dévoilé le spectacle fantasmagorique d'une structure colonisée par des coraux filiformes *(Desmophyllum pertusum,* aussi appelés *Lophelia pertusa). « Ce type de corail forme des récifs dans l'obscurité des abysses. Mais jusque-là, cette espèce n'avait pas été observée dans cette partie de la Méditerranée occidentale »*, indique Nadine Le Bris, de l'observatoire océanologique de Banyuls-sur-Mer (Pyrénées-Orientales). À la différence des coraux d'eaux chaudes, elle ne vit pas en association avec des algues zooxanthelles, mais capte elle-même sa nourriture, en l'occurrence du krill très abondant autour de l'épave. Les polypes formant le corail fabriquent un squelette commun, structure qui abrite ensuite d'autres espèces, créant ainsi un refuge de biodiversité, dans un milieu par ailleurs hostile. Ces récifs jouent un rôle important pour la captation du carbone et la reproduction des poissons. Il est donc crucial de les localiser pour mieux les protéger des activités humaines. *« Ces coraux sont dits solitaires, mais sur le* Francesco-Crispi *on en dénombre des densités rares sur des surfaces importantes »*, note la chercheuse. Une richesse écologique étonnante à cette profondeur, qui pourrait être un réservoir de futures colonies coralliennes dans un contexte de réchauffement climatique.



F. GRANER/ NATUREPL/ EBPHOTO

« Desmophyllum pertusum » forme des récifs dans la froideur des eaux profondes, abritant d'autres espèces.

Les algues, une « révolution civilisationnelle »

La culture des algues est un secteur d'avenir qui sera au cœur des débats du festival Grand Océan organisé par « Sciences et Avenir-La Recherche » les 7, 8 et 9 octobre à la Cité de la mer, à Cherbourg.

« *Rendez-vous compte ! Nous en sommes à un âge préhistorique, celui des chasseurs-cueilleurs. Alors qu'il y a en France 550 chercheurs sur deux espèces de blé, il n'y en a que 70 sur 12 000 espèces d'algues, dont on ne sait cultiver que 10 ou 20 !* » Vincent Doumeizel, conseiller pour les océans au Pacte mondial des Nations unies, vient de leur consacrer un livre enthousiaste, titré *La Révolution des algues* (Éditions des Équateurs). Nori, wakamé, kombu ou hiziki… Ces drôles de noms à la consonance japonaise cachent des végétaux d'une incroyable diversité.

Les algues sont mal-aimées dans nos contrées, contrairement à l'Asie où on les appelle « légumes de mer ». Un *a priori* qui fait que l'Occident prend du retard dans l'exploitation de cette ressource extraordinaire pour l'alimentation, l'agriculture et l'élevage, l'écologie, la santé et la médecine, et même — plus inattendu —, la réduction de la pauvreté voire des inégalités hommes-femmes dans de nombreux pays. En clair, pronostique Vincent Doumeizel, si tant est que les humains s'emparent de cette « *mériculture* » — à l'instar de ce qu'ils ont fait avec l'agriculture au néolithique il y a environ 10 000 ans —, c'est une « *révolution civilisationnelle* » qui se profile. Rien de moins. Avec notre actuelle démographie montante, « *nous avons 300 000 personnes de plus à nourrir tous les jours* », assène celui qui est également directeur agroalimentaire à la fondation Lloyd's Register.

Ne pas reproduire en mer les erreurs de la culture intensive

Or, avec les algues, dont on continue « *sur la plus grande partie du globe à faire une cueillette sauvage, [on agit] à l'envers de ce qu'il faudrait* », affirme Vincent Doumeizel. C'est comme si on avait essayé jadis de « *domestiquer sangliers et vaches sans avoir fait pousser de céréales avant* ». Il faudrait commencer par cultiver ces végétaux qui se trouvent au bas de l'échelle alimentaire, pour en tirer ensuite tous les bénéfices. Par exemple, en pratiquant une aquaculture au nom un peu barbare d'« *aquaculture multitrophique intégrée (AMTI) ou permaculture de mer, qui consiste à élever des poissons à côté des cultures d'algues et d'invertébrés* ». Autrement dit, se rapprocher de ce qui fait les écosystèmes naturels, capables de se régénérer.

PROGRAMME

Découvrir et préserver les trésors de notre planète bleue

- **7 octobre. 16 h :** Ouverture, Cité de la mer. Annonce de la « Déclaration Grand Océan », avec l'explorateur Jean-Louis Étienne, la navigatrice Isabelle Autissier… Conférences sur « L'extraordinaire biodiversité de l'océan », avec Gilles Bœuf, Catherine Jeandel.
- **8 octobre. 9 h :** Une journée pour découvrir les coraux, les abysses mystérieux, les forêts sous-marines, avec des directs depuis la goélette *Tara*, le parc marin de Mayotte, les fermes d'algues aux États-Unis et à Zanzibar…
- **9 octobre.** Grand pique-nique à Saint-Vaast-la-Hougue.
- **Détails du programme et inscription gratuite :** www.grandocean-event.com

ALAMY/PHOTO12

L'algoculture est davantage développée en Asie (ici, en Indonésie) qu'en Occident, où les algues pâtissent d'une mauvaise image.

Et attention à ne pas reproduire en mer les erreurs de la culture intensive, qui a épuisé les sols sur Terre. À lancer des productions qui détruiraient les sédiments du fond de l'océan. La permaculture en mer, même si elle n'est pas facile à mettre au point, commence de tenter des pays comme l'Inde. Dans ce *« pays grand producteur de crevettes [où leurs] élevages sont tenus responsables d'environ 30 % de la destruction des mangroves, niches écologiques d'une grande richesse, les algues s'invitent depuis peu, afin de limiter ces dommages causés à l'environnement.* »

Décidément, il faut abandonner ce proverbe de l'Antiquité selon lequel *« la mer déteste tellement les algues qu'elle les rejette sur la plage »*. Bien au contraire, si *Ulva armorica* s'empile dans les baies bretonnes, et y pourrit avec une odeur pestilentielle qui la rend détestable, c'est que l'océan se défend contre tous les déversements de type nitrates (venus tout particulièrement des lisiers de porcs) que la terre lui envoie !

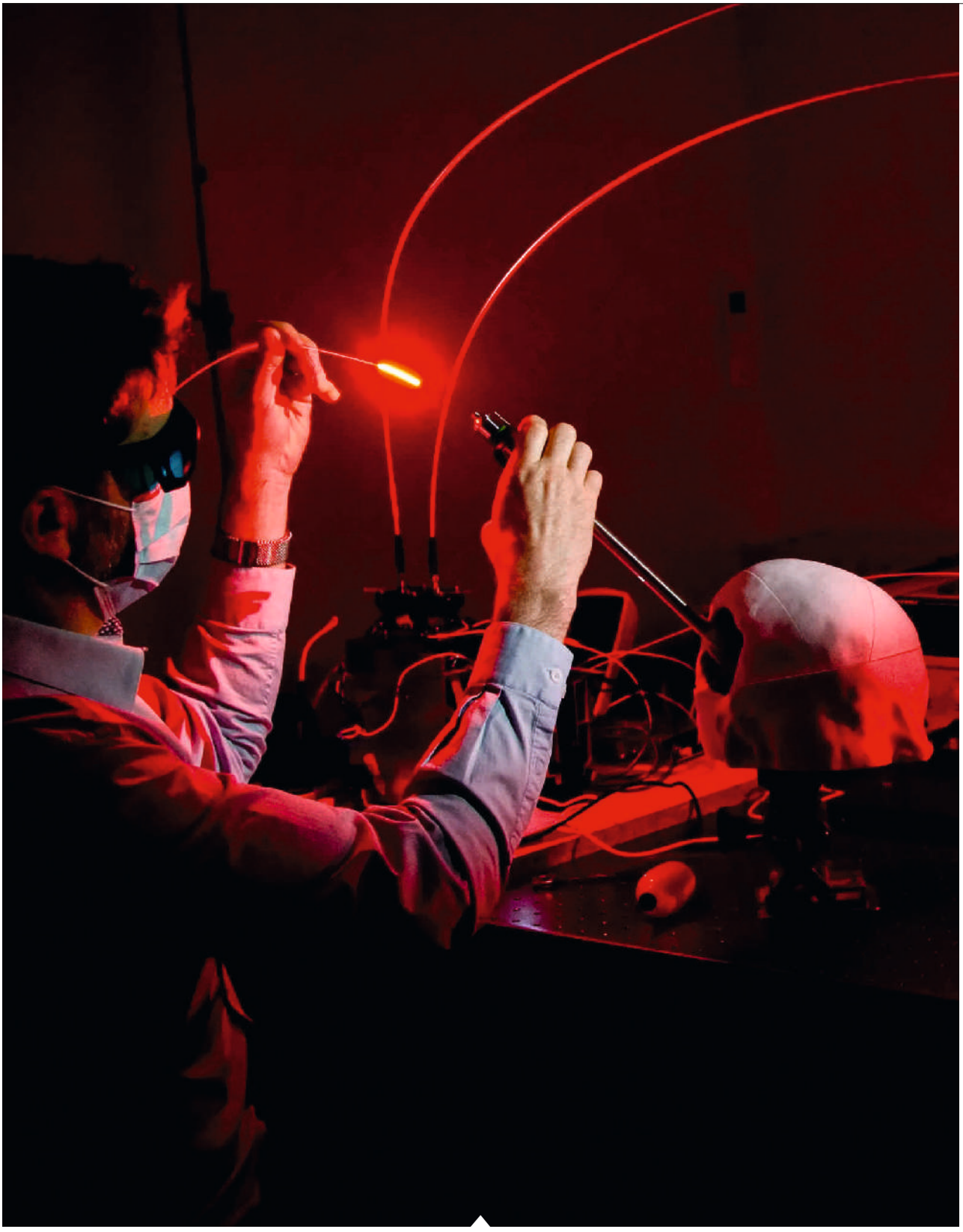
Certaines algues brunes bien employées, *« accrochées à des câbles et régulièrement récoltées »*, pourraient filtrer cet apport chimique qui fait proliférer les algues vertes, ulves perçues aussi comme un poison parfois mortel pour les animaux et les humains. Les Chinois, qui ont passé la surmultipliée sur le sujet et ne veulent pas se voir victimes à répétition de « marées de salade » — telle celle de 2008 pendant les jeux Olympiques d'été à Pékin —, ont adopté cette méthode de dépollution des nitrates et phosphates. Elle permettrait aujourd'hui, après des calculs savants sur leur capacité d'absorption, que *« les cultures d'algues en Chine absorbent 75 000 tonnes de nitrates et 9500 tonnes de phosphates par an »*.

« La plus grande ressource sur Terre encore inexploitée »

Ces derniers, après recyclage, peuvent être réutilisés sur terre, à l'heure où pointe une possible pénurie de ressources en phosphate. Cette méthode dite de bioremédiation peut cependant avoir l'effet pervers, pense-t-on aussi de ce côté-ci du globe, de constituer une « valorisation d'une pollution », empêchant une réelle prévention de ces rejets nocifs pour l'environnement.

Une chose est sûre, l'acceptabilité de la culture des algues, *« la plus grande ressource sur Terre encore inexploitée »* (ou presque), est un point clé. Pas étonnant que le milliardaire américain Jeff Bezos s'y intéresse. Vincent Doumeizel, encore étonné d'avoir eu un jour l'homme le plus riche du monde au téléphone, raconte comment ce dernier, après une discussion d'une demi-heure qui l'a manifestement convaincu, a décidé d'*« octroyer 100 millions de dollars pour mener des actions qui favorisent l'acceptation sociale »* de cette algoculture. Un secteur d'avenir à n'en pas douter. Dont il sera question lors du festival Grand Océan au cours d'une conférence de Vincent Doumeizel, et d'une table ronde animée par *Sciences et Avenir-La Recherche* avec la participation de Philippe Potin, directeur de recherche au CNRS, Éric Philippe, coprésident de l'Association Merci les algues, et deux pionnières de l'exploitation de fermes d'algues : Flower Msuya et Briana Warner. ■ **Dominique Leglu**

@dominiqueleglu



FRANÇOIS GUENET / DIVERGENCE

La recherche sur la lumière avance à grands pas en médecine et concerne de plus en plus de pathologies, de la dépression au cancer du cerveau (ici, démonstration de la photothérapie dynamique pour détruire la tumeur) en passant par la cécité, Parkinson ou même Alzheimer.

Soigner par la lumière

Une nouvelle médecine

Luminothérapie, photothérapie dynamique ou encore optogénétique… Les bienfaits de la lumière sont déclinés dans des technologies très différentes. Et la liste des pathologies concernées s'allonge régulièrement. La neuro-illumination permettrait même de ralentir la progression de la maladie de Parkinson.

Par Sylvie Riou-Milliot

Que la lumière soit, mais surtout soigne ! Certes, les rayons lumineux peuvent nuire : le lien entre surexposition au soleil et mélanome n'est plus à établir. Mais grâce à la recherche médicale, les preuves s'accumulent : leurs bienfaits pour notre santé sont aussi bien réels. Or qu'entend-on par « lumière » ? Selon le dictionnaire *Larousse*, il s'agit d'un « *rayonnement électromagnétique dont la longueur d'onde, comprise entre 400 nanomètres (nm) (violet) et 780 nm (rouge), correspond à la zone de sensibilité de l'œil humain.* » Et c'est bien entre ces deux valeurs — le spectre dit visible — que ses effets se font sentir.

Soigner par la lumière a commencé en dermatologie à la fin du XIXe siècle, quand le recours à un éclairage artificiel a été pour la première fois proposé pour traiter certaines cicatrices cutanées en lien avec des maladies comme le lupus ou la variole. Ensuite, l'efficacité de la lumière sera démontrée au XXe siècle pour prévenir et traiter le rachitisme, avec la découverte du rôle essentiel des rayons ultraviolets A et B dans la production par le corps humain de la vitamine D, essentielle à la croissance de notre squelette. « *Aujourd'hui, il est devenu possible de maîtriser la lumière au nanomètre près, selon la longueur d'onde utilisée* », insiste Serge Mordon, ancien directeur de l'unité Inserm Thérapies assistées par lasers et immunothérapies pour l'oncologie (OncoThAI), à Lille. D'ailleurs, la liste des pathologies concernées s'allonge régulièrement. L'idée n'est plus uniquement de soigner, mais aussi de prévenir l'apparition de certaines maladies, ou tout au moins d'en ralentir la progression. C'est le cas de la ▸

maladie de Parkinson, avec un essai clinique étonnant mené actuellement au centre de recherche biomédicale Clinatec, à Grenoble : dès cet automne, un quatrième patient y sera implanté avec un dispositif éclairant son cerveau de l'intérieur ! *(Lire p. 68.)*

Des cellules réagissent à la lumière bleue

Toutefois, des zones d'ombre persistent sur la compréhension précise des mécanismes induits dans différents protocoles qui ne font pas toujours l'objet de consensus. C'est le cas de la plus classique luminothérapie *(lire ci-contre)* utilisée face aux troubles du sommeil, à la dépression saisonnière ou à la jaunisse du nourrisson : elle ne bénéficie toujours pas de recommandations standardisées. Autre écueil : la plupart des études ont été faites avec de la lumière blanche (qui correspond à l'addition de toutes les couleurs visibles). Pourtant, une publication dans la revue *Science* en 2002 avait déjà mis en évidence un nouveau type de cellules, inconnues jusqu'alors, qui réagissaient à la lumière bleue. Une découverte ouvrant sur d'autres pistes qui restent à explorer. Parmi elles, une technique en plein essor, la photothérapie dynamique *(p. 66)*, utilisée face à différents cancers (cerveau, ovaires, poumons, foie…). Ici, de récents travaux laissent entrevoir qu'elle pourrait réveiller le système immunitaire en le stimulant. La question est au cœur des recherches menées par l'unité OncoThAI, aujourd'hui dirigée par le Pr Nadira Delhem qui prévoit déjà d'y associer des traitements d'immunothérapie pour optimiser la réponse antitumorale. Enfin, ce dossier ne serait pas complet sans évoquer l'optogénétique *(p. 68)*, qui, elle, va jusqu'à envisager l'utilisation de la lumière pour contrôler les gènes. Bienvenue sur la planète lumière. ■

Luminothérapie

S'exposer à la lumière pour remettre son corps d'aplomb

La technique a fait ses preuves pour lutter contre la dépression saisonnière, les problèmes d'endormissement et la jaunisse du nourrisson.

De la lumière artificielle pour améliorer le moral, combattre les troubles du sommeil des adultes ou traiter la jaunisse des nourrissons. Le principe de la luminothérapie est d'exposer un patient à une lumière artificielle — le plus souvent blanche, mais aussi bleue — à large spectre, filtrant les rayons ultraviolets (UVA et UVB). À ne pas confondre avec la photothérapie, validée, elle, depuis les années 1970 et uniquement à base d'UV pour traiter le psoriasis. Pour les adultes, le but de la luminothérapie est d'inhiber la sécrétion de mélatonine, l'hormone essentielle de la régulation de notre sommeil sur 24 heures, qui augmente dès que la luminosité baisse pour nous faire basculer en mode sommeil. Aujourd'hui, ses bénéfices dans la prise en charge des troubles veille/sommeil, dits aussi circadiens *(lire* S. et A. *n° 838)*, sont largement utilisés chez les patients présentant soit une « avance de phase » (sommeil précoce en soirée, réveil nocturne précoce), soit à l'inverse un « retard de phase » (sommeil et réveil tardifs). Dans le premier cas, le recours à la luminothérapie a lieu le soir afin de retarder l'horloge biologique ; dans le second, le matin pour l'avancer.

Mais aujourd'hui, la technique est surtout validée pour lutter contre la dépression saisonnière — un trouble qui concerne près de 5 % de la population en France à l'automne — et dans la prévention des récidives d'épisodes dépressifs, selon les recommandations de la Haute Autorité de santé en 2007. En s'exposant le matin, l'idée est de leurrer le cerveau en lui envoyant un signal d'été, même si c'est l'automne ou l'hiver. Toutefois, comme l'a montré une méta-analyse française originale publiée en 2019 dans la revue *Sleep Medicine Reviews*, la technique pourrait aussi être utilisée dans la prise en charge des dépressions classiques et pas seulement pour les épisodes saisonniers. L'analyse de sept essais concernant 400 patients, réalisée par le psychiatre Pierre-Alexis Geoffroy (hôpital Bichat, à Paris) et ses

Au moins
10 000 lux
en lumière blanche
(200 en lumière bleue)
30 min
par jour
à 50 cm
de la source environ

ANTOINE DEVOUARD / LOOKATSCIENCES

Les séances de luminothérapie se pratiquent le plus souvent à domicile, mais aussi parfois à l'hôpital (ici, au centre du sommeil de l'Hôtel-Dieu, à Paris).

collègues du CHU de Strasbourg, révèle que la luminothérapie s'avère non seulement équivalente aux antidépresseurs si ceux-ci sont prescrits seuls, mais qu'elle est aussi très intéressante en cas d'association : la combinaison lumière-antidépresseurs est plus rapidement efficace que la seule approche chimique.
D'autres travaux seront néanmoins nécessaires pour mieux maîtriser les modalités d'utilisation de la luminothérapie, la question de la durée précise de ce traitement restant entière. Sans oublier l'évaluation de ses effets à long terme, toujours mal connus. Sans danger, la technique reste néanmoins contre-indiquée chez les personnes présentant des problèmes visuels (cataracte, dégénérescence maculaire, glaucome, rétinite…), celles sous médicaments photosensibilisants (lithium, antibiotiques…) ou encore celles atteintes d'affection psychiatrique.
Mais en fait de lumière, toutes les couleurs sont-elles égales ? À ce jour, c'est surtout la lumière blanche qui a été étudiée. Pourtant, il y a tout juste vingt ans, un dogme s'est écroulé, selon lequel les cônes (vision diurne des couleurs) et les bâtonnets (vision nocturne) seraient les seuls photorécepteurs de l'œil. Publiés dans la revue *Science* en 2002, les travaux menés par l'équipe américaine de David Berson, de l'université Brown (Providence, États-Unis), ont en effet formellement démontré l'existence d'un troisième type de cellules totalement inconnues au début du XXIe siècle : les cellules dites ganglionnaires, réagissant tout particulièrement au spectre de la lumière bleue. Or, à ce jour, encore très peu d'études ont été menées sur cette longueur d'onde.

Des dispositifs en accès libre… à des prix très variables

Parfois pratiquée à l'hôpital (en services de psychiatrie, laboratoires du sommeil ou cliniques privées), la luminothérapie demeure surtout utilisée au domicile des patients qui, spontanément ou sur les conseils de leur psychiatre, choisissent de s'équiper d'un dispositif. Bien que non standardisés, les conseils d'utilisation sont les suivants : au moins 10 000 lux (l'unité de l'éclairement lumineux) en lumière blanche — ou 200 en lumière bleue — avec une exposition quotidienne de trente minutes, plutôt le matin, à environ 50 cm de la source lumineuse. De nombreux modèles (miroir, lampe de bureau, lunettes…) existent à des coûts variables (de 50 à 300 euros dans les pharmacies, supermarchés ou en ligne, non remboursés). Des dispositifs à ne pas confondre avec les produits vendus comme « simulateurs d'aube », qui proposent une diffusion de lumière matinale dont l'intensité est insuffisante pour traiter une dépression. ■

JAUNISSE

Des tissus lumineux pour nouveau-nés

Utilisés depuis les années 1960, différents dispositifs de luminothérapie (tubes fluorescents, lampes halogènes, etc.) traitent la jaunisse des nourrissons, dont le foie immature ne peut éliminer un pigment, la bilirubine, qui s'accumule dans leur sang et colore leur peau. Le principe est de les exposer à une lumière bleue ou blanche, correspondant à la zone d'absorption de la bilirubine qui est transformée en dérivés solubles éliminés dans les urines. Mais il y a des inconvénients : chaleur, rupture du lien mère-enfant pendant le soin. *« Des dispositifs récents en développement permettront de traiter en ambulatoire en intégrant des fibres optiques dans des tissus plus ou moins souples »*, prédit Serge Mordon, ancien directeur de l'unité Inserm OncoThAI, à Lille. Et aussi, à terme, d'autres pathologies comme les aphtes, les dermatites ou les cicatrices.

Photothérapie dynamique

Détruire les cellules cancéreuses en les illuminant

Une technique novatrice consiste à faire absorber par les cellules cancéreuses une molécule capable de les détruire quand elles sont exposées à la lumière. Elle permet également de guider le chirurgien dans ses gestes lors d'une opération.

PTD, trois lettres mal connues, mais porteuses de solides espoirs thérapeutiques face au cancer. La PTD (photothérapie dynamique, en anglais PDT) est aujourd'hui déjà utilisée « en routine » au lieu de la chirurgie face à certaines lésions précancéreuses de la peau, mais aussi dans le cadre de recherches pour vaincre d'autres types tumeurs : cerveau, poumon, ovaires, foie, pancréas. La preuve avec différents travaux évoqués par la centaine de spécialistes français réunis lors de la troisième journée nationale de la PTD, organisée à Toulouse à l'automne 2021 sous l'égide de la Société francophone de photonique médicale. *« Le principe de la PTD repose sur une interaction chimique entre trois éléments : un produit photosensibilisant, de l'oxygène et de la lumière »*, résume Serge Mordon, ancien directeur de l'unité Inserm Onco-ThAI (thérapie laser assistée par l'image pour l'oncologie) basée à Lille. Il est l'un des meilleurs spécialistes en France de cette approche née outre-Atlantique à la fin des années 1970 avec les travaux du cancérologue américain Thomas Dougherty. Les mécanismes d'action de la PTD — toujours en cours d'exploration — semblent liés à l'immunité. Cette technique, initialement testée dans le cancer de l'œsophage et de la prostate et dans la dégénérescence maculaire liée à l'âge, fait aujourd'hui l'objet de près de 500 essais cliniques à travers le monde. En pratique, il s'agit de faire absorber par des cellules cancéreuses un photosensibilisant, une molécule non toxique administrée soit par voie locale (directement appliquée en crème sur la peau), soit par prise orale ou en injection intraveineuse.

500
Le nombre d'essais cliniques en cours dans le monde

Des molécules ciblant spécifiquement la tumeur

« La particularité des différents photosensibilisants est de ne s'activer qu'au moment de l'illumination avec un laser émettant une lumière dont la longueur d'onde est préférentiellement absorbée par la molécule utilisée », précise Serge Mordon. Le plus souvent, il s'agit de molécules qui s'accumulent plutôt dans les cellules cancéreuses, leur activité métabolique étant plus forte que celle des cellules saines. Si elles ne sont pas activées par la lumière, elles se dégradent naturellement. Mais si, en revanche, elles sont illuminées, *« le photosensibilisant est activé, ce qui génère, en présence d'oxygène, la formation de radicaux libres capables de détruire les cellules cancéreuses par différents mécanismes comme l'apoptose, la nécrose, mais aussi en bloquant la formation des néovaisseaux sans lesquels la tumeur n'est plus vascularisée »*, détaille Céline Frochot, directrice de recherche CNRS au laboratoire Réactions et génie des procédés (université de Lorraine, à Nancy). Exemple avec l'application la plus fréquente de la PTD en cas de lésions précancéreuses de la peau, dites kératoses actiniques, souvent localisées au niveau du cuir chevelu chez les hommes chauves *(voir l'infographie ci-contre)*, un motif très fréquent de consultation en dermatologie. Une fois le diagnostic établi, tout commence par l'application d'une crème (Metvixia, Ameluz, Levulan…). Au bout de quelques heures, la peau est exposée à la lumière (naturelle

CHU-LILLE/INSERM IMAGES/ALAIN VANDERHAEGEN

Le laser guide le chirurgien dans l'ablation d'un glioblastome (cancer du cerveau), au CHU de Lille.

ou laser) pour activer le photosensibilisant. Seule ombre au tableau : la survenue fréquente d'une douleur, souvent génératrice d'inconfort. Pour y remédier, un premier textile lumineux, constitué de fibres optiques tricotées (FluxMedicare), a été récemment développé et les premiers retours d'utilisation semblent très satisfaisants.

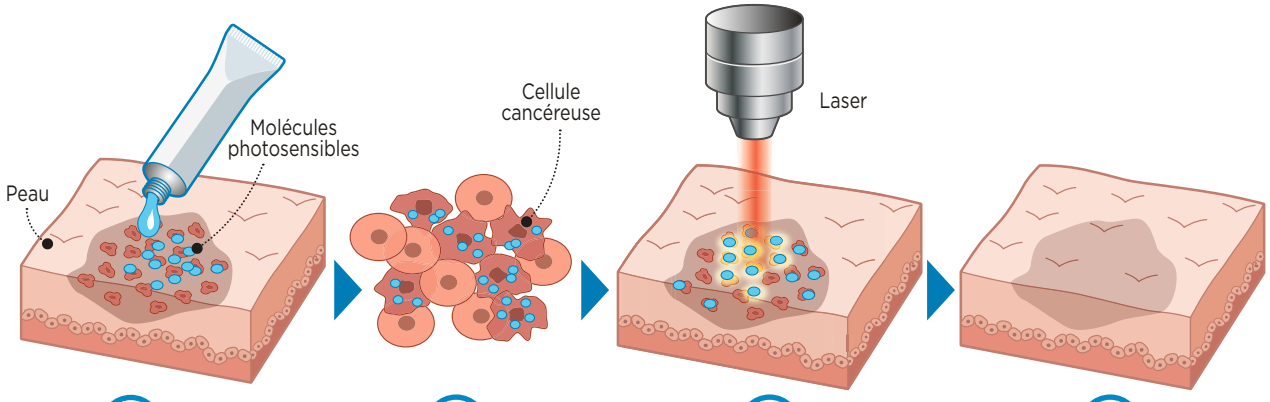
Mais pour augmenter l'efficacité et agir encore plus en profondeur, un autre développement est à l'étude : un patch de micro-aiguilles de quelques centaines de microns. Ce projet, conduit par Mathilde Champeau de l'Inserm avec le CEA-Leti, prévoit un dispositif sous-cutané éclairé par des LED. En moins d'une heure, les cellules tumorales seraient détruites. Déjà breveté, le produit pourrait être commercialisé d'ici à cinq ans.

Intervenir dans des zones que le scalpel ne peut pas atteindre

L'illumination peut aussi avoir lieu directement au bloc opératoire et en complément de la chirurgie. Un essai clinique pionnier a ainsi démarré en 2017 en réponse au glioblastome, une tumeur cérébrale agressive et infiltrante (20 000 cas par an en Europe, troisième cause de décès par cancer chez les jeunes entre 15 et 35 ans). Tout repose ici sur les travaux d'une start-up lilloise, Hemerion Therapeutics. Elle a été créée après dix ans de travaux conduits par Serge Mordon avec l'Inserm, l'université et le CHU de Lille ainsi que l'équipe du physicien médical Maximilien Vermandel, du chercheur Clément Dupont et du neurochirurgien Nicolas Reyns. Depuis le premier patient opéré en 2017, une quinzaine de malades ont été inclus. Ici, six heures avant l'intervention chirurgicale, un photosensibilisant, le Pentalafen, est ingéré par le patient. Une fois

PROCESSUS

Comment la photothérapie dynamique soigne les cancers de la peau



BRUNO BOURGEOIS

1 **Un photosensibilisant** est appliqué sur l'épiderme à l'aide d'une crème.

2 **Ces molécules** ne s'accumulent que dans les tissus qui se multiplient rapidement, en particulier les cellules cancéreuses.

3 **Une lumière laser** est projetée en direction de la tumeur. Elle déclenche une réaction chimique qui rend toxiques les molécules photosensibles.

4 **Les cellules cancéreuses** sont détruites de manière sélective sans causer de dégâts aux cellules saines.

au bloc, après ouverture de la boîte crânienne et sous contrôle radiologique, le neurochirurgien utilise son microscope avec une lumière bleue pour mieux guider son geste et retirer la tumeur qui apparaît en rose. Ensuite, un ballonnet doté d'une fibre optique — un dispositif mis au point à Lille — est directement appliqué au niveau de la zone opératoire. Pendant quelques minutes, un autre laser, rouge cette fois, est activé. « *L'objectif est d'éliminer des cellules tumorales préalablement photosensibilisées par le traitement médicamenteux dans des zones que le scalpel ne peut atteindre* », détaille Maximilien Vermandel. Qui poursuit : « *Les premiers résultats publiés en 2021 ont démontré que la survie sans progression de la maladie était de dix-sept mois dans le groupe avec PTD contre sept dans celui sans PTD.* » D'autres résultats sont à venir à la fin de cette année ; et la start-up vient de lancer un essai clinique à l'hôpital Mont Sinaï, à New York (États-Unis).

Des fibres optiques insérées dans le cerveau sans opérer

Pour les patients non opérables, il est même déjà prévu de mettre au point des fibres optiques qui s'insséreraient directement dans le cerveau, sans ouverture de la boîte crânienne, pour agir au sein même de la tumeur cérébrale. C'est ce que les spécialistes nomment la « PTD interstitielle ».

Mais le cerveau n'est pas le seul organe concerné par cette approche innovante. Différents essais cliniques ont aussi commencé pour faire face au mésothéliome — une tumeur agressive de mauvais pronostic atteignant la plèvre — et aux cancers du foie et de l'ovaire, pour lesquels le risque de persistance de cellules tumorales est très élevé, même après une chirurgie minutieuse. La lumière et le scalpel : un duo de choc face au cancer. ■

Neuro-illumination

L'infrarouge permet de ralentir Parkinson

L'objectif est d'agir sur les neurones endormis pour relancer leur sécrétion de dopamine, le neuromédiateur manquant responsable des symptômes.

Illuminer le cerveau de l'intérieur et en continu pour ralentir la progression de la maladie de Parkinson. Non, il ne s'agit pas d'un scénario de science-fiction mais d'un essai pionnier dit NIR (Near Infra Red), porté par le centre Clinatec, à Grenoble. Objectif : agir sur les neurones endormis des parkinsonniens pour relancer leur sécrétion de dopamine, le neuromédiateur manquant responsable des symptômes (tremblement, raideur, troubles de la marche). L'essai a démarré en 2021, après d'excellents résultats obtenus sur des modèles animaux (publiés en 2016 dans *Annals of Neurology*) montrant qu'une molécule participant à la fabrication de la dopamine pouvait être réactivée par l'infrarouge. 14 patients, tous atteints d'une maladie à ses débuts, seront suivis pendant quatre ans, la moitié d'entre eux étant stimulés. En pratique, il s'agit d'un dispositif intracérébral implantable proche de la stimulation cérébrale profonde, mis au point par le Pr Alim-Louis Benabid, raccordé à un générateur optique lui-même relié à une fibre optique délivrant en continu au cerveau une lumière proche de l'infrarouge. On a donc affaire à une double

Optogénétique

Prendre le contrôle des neurones par la lumière

Des aveugles ont récupéré la capacité de percevoir des formes grâce à un dispositif inédit.

Voir à nouveau — et peut-être aussi un jour entendre — grâce à une technique : l'optogénétique. Comment ? En prenant le contrôle des neurones grâce à la lumière. Une première mondiale a ainsi été annoncée en mai 2021 à l'Institut de la vision, à Paris, par une équipe française conduite par les Pr José Sahel et Botond Roska (université de Pittsburgh, États-Unis) avec la start-up GenSight. Depuis l'essai dit Pioneer, deux patients ont partiellement récupéré la capacité de percevoir des formes grâce à un dispositif visuel portable permettant de les amplifier. Atteintes d'une rétinite pigmentaire,

RON BROWN

L'illumination extracrânienne est à l'étude pour tenter de ralentir la progression de maladies neurodégénératives (Parkinson, Alzheimer). Ici en Australie, un patient Parkinson portant un casque équipé de LED infrarouges, en 2019.

stimulation, électrique et lumineuse, pulsée et cyclique (une minute suivie de 5 minutes d'arrêt), ciblant le lieu de dégénérescence des neurones qui sécrètent la dopamine. « *Le premier objectif de NIR — démontrer qu'il n'y a pas d'effets secondaires — est en voie d'être atteint* », détaille le Pr Stephan Chabardès, neurochirurgien et directeur de Clinatec, qui poursuit : « *Selon les tests neuropsychologiques et les évaluations du sommeil régulièrement pratiqués chez les trois patients implantés à ce jour, aucune gêne n'a été rapportée, aucun ne ressentant la lumière émise par le dispositif.* » Des premiers résultats encourageants. Reste à atteindre le second objectif : démontrer que la progression de la maladie peut être ralentie. Pour cela, des PETscan seront répétés une fois par an pendant quatre ans pour savoir si la neuro-illumination peut réactiver la sécrétion de dopamine.

Un autre projet, Covéa Neurotec, également mené à Clinatec, prévoit quant à lui une illumination extracrânienne en réponse à Alzheimer, avec le port d'un casque. Des travaux précliniques (primates, rongeurs) sont en cours et des essais prévus chez l'humain, mais il est encore trop tôt pour statuer sur les modalités d'utilisation, soit la durée quotidienne du port de ce casque. ■

ces personnes vivaient dans l'obscurité totale depuis plus de quinze ans et leurs photorécepteurs, les cellules rétiniennes sensibles à la lumière, avaient été peu à peu détruites. Depuis la publication de travaux allemands dans *Science* en 2002, les scientifiques savaient qu'une protéine d'algue, une opsine, devenait capable, en cas d'exposition à la lumière, de produire un courant électrique. Ils se sont donc servis de cette propriété pour introduire, par une injection au niveau de l'œil, le code génétique de l'opsine dans les photorécepteurs humains à l'aide d'un vecteur viral utilisé classiquement en thérapie génique, un adénovirus. Les deux patients ont commencé à percevoir des formes visuelles, sept mois après l'injection pour le premier et douze mois pour le second. L'essai est toujours en cours et doit se poursuivre avec d'autres malades.

Concernant l'audition, des opsines ont également été utilisées, mais uniquement chez des rongeurs à ce jour. Avec de premiers succès pour les travaux du Dr Tobias Moser, chirurgien ORL à la tête de l'Institut pour les neurosciences de l'audition à Göttingen (Allemagne). Son objectif est de taille : restaurer l'audition en réussissant, cette fois, à exprimer le gène de l'opsine au niveau de l'os de la cochlée afin que les neurones deviennent sensibles à la lumière et puissent stimuler le nerf auditif. Le démarrage des essais cliniques est prévu pour 2025. ■

IMPLANTS CARDIAQUES

Un cœur photosensible

Contrôler le rythme cardiaque par la lumière. Un récent état des lieux de dix ans de travaux, publié en 2021 dans *Nature Review Cardiology* par Emilia Entcheva, responsable du Laboratoire d'optogénétique cardiaque à l'université de Washington (États-Unis), montre qu'il est possible de modifier génétiquement le tissu cardiaque en le rendant sensible à la lumière. À terme, l'idée est d'améliorer les dispositifs cardiologiques implantables (pacemaker, défibrillateurs) pour les rendre moins énergivores.

L'impossible quête du sang artificiel

C'était le « graal » pour mettre fin aux problèmes de dons : le sang artificiel s'est révélé être un objectif inatteignable. Aussi les chercheurs se sont lancé un nouveau défi : fabriquer à la demande globules rouges et plaquettes.

Depuis le début de l'année, l'Établissement français du sang (EFS) a déjà lancé deux appels d'urgence sur l'état de ses stocks, entamés par la pandémie de Covid-19. À l'échelle nationale, les activités sanitaires consomment en effet 50 000 poches de sang par semaine. Compte tenu de leur faible durée de conservation (dix jours pour les globules rouges), l'EFS a chiffré que pour répondre aux besoins nationaux, il faudrait que 10 000 Français fassent quotidiennement don de leur sang. Un nombre de plus en plus difficile à garantir du fait de nos nouveaux modes de vie en distanciel. Faudra-t-il pallier cette raréfaction par un substitut artificiel ? Plusieurs équipes dans le monde travaillent à la fabrication *in vitro* de globules rouges ou de plaquettes. Elles ont perfectionné ces quinze dernières années des méthodes de synthèse à partir de cellules dites hématopoïétiques primaires (CD34+) ou de cellules souches pluripotentes induites (IPS). L'équipe de l'hématologue français Luc Douay, ancien chef de service du laboratoire d'hématologie de l'hôpital Saint-Antoine à Paris, a ainsi réalisé en 2011 la première transfusion à un volontaire sain de 2 millilitres de globules rouges de culture développés à partir de ses propres cellules. Au Royaume-Uni, une équipe de l'université de Cambridge est en passe de franchir une nouvelle étape : 15 personnes ont donné leur sang pour permettre une culture de globules rouges et une transfusion hétérologue, c'est-à-dire qu'elles recevront des globules rouges de synthèse compatibles avec leur groupe sanguin mais non issus de leurs propres cellules. Les premiers résultats sont attendus en octobre.

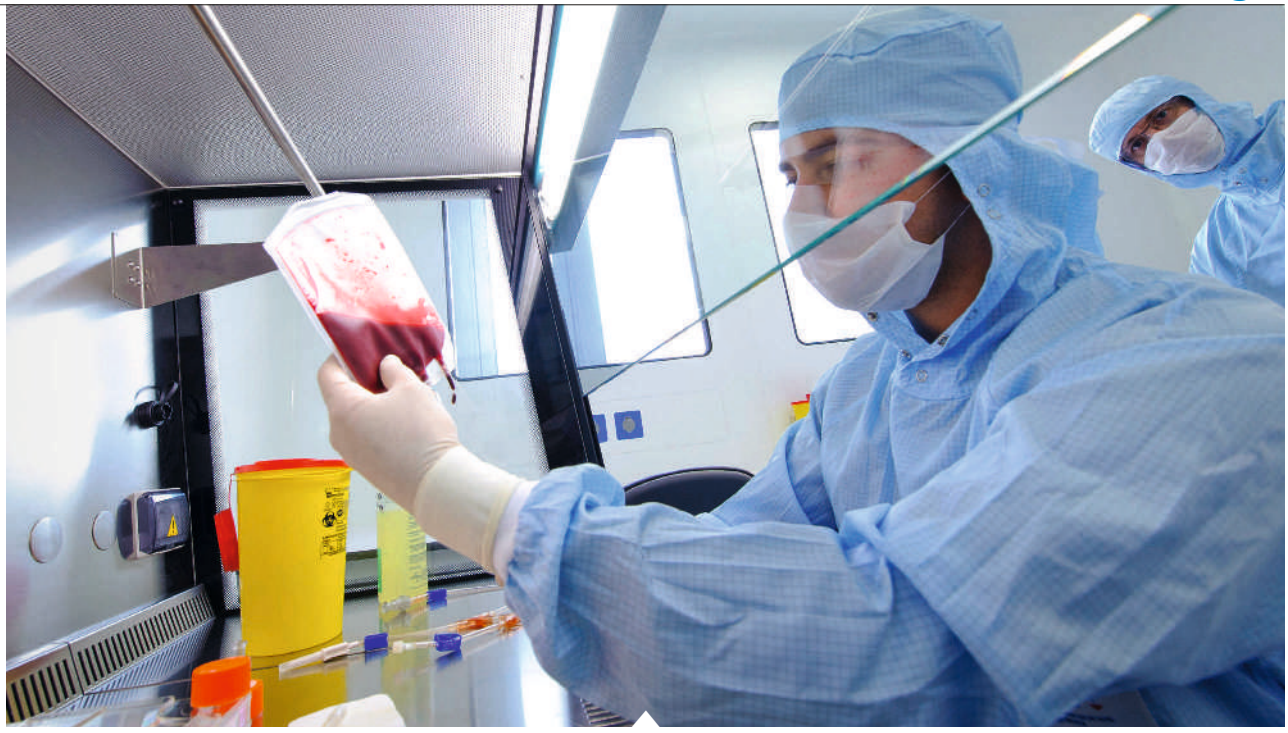
EFS/S. MILLIER

« L'ambition est de synthétiser les globules rouges pour le transport d'oxygène et les plaquettes pour leurs capacités de coagulation »

Pascale Richard,
directrice médicale de l'Établissement français du sang

Du sang d'agneau au lait, des siècles de tentatives avortées

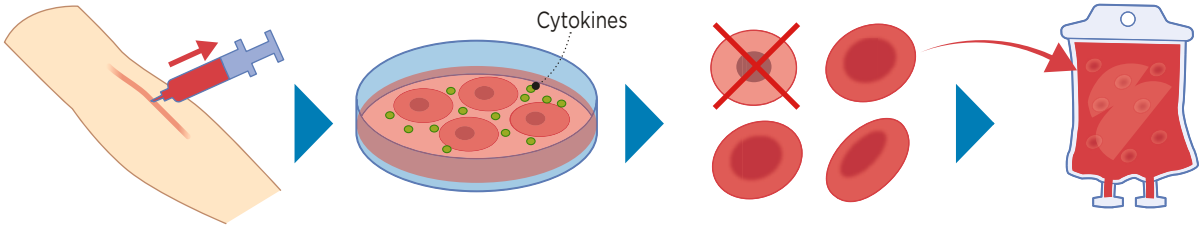
Au Japon, l'entreprise Megakaryon et des chercheurs de l'université de Kyoto testent l'innocuité et l'efficacité de plaquettes de culture chez dix personnes atteintes de thrombopénie, une diminution du nombre de plaquettes dans le sang en raison d'une anomalie de la moelle osseuse, d'une leucémie ou d'un autre cancer ayant nécessité une lourde chimiothérapie. *« L'ambition est aujourd'hui de parvenir à synthétiser certains constituants du sang pour une fonction précise : les globules rouges pour le transport d'oxygène et les plaquettes pour leurs capacités de coagulation,* explique Pascale Richard, directrice médicale de l'Établissement français du sang. *La perspective de remplacer le sang dans son intégralité a été abandonnée.* »



CHRISTOPHE LEPETIT / LE FIGARO MAGAZINE

Un technicien introduit des cellules souches sanguines dans un milieu de culture, à l'hôpital Saint-Antoine, à Paris.

Comment fabriquer des globules rouges



Collecte des cellules souches hématopoiétiques auprès d'un donneur.

Culture cellulaire durant 21 jours, avec des cytokines permettant leur différenciation en globules rouges.

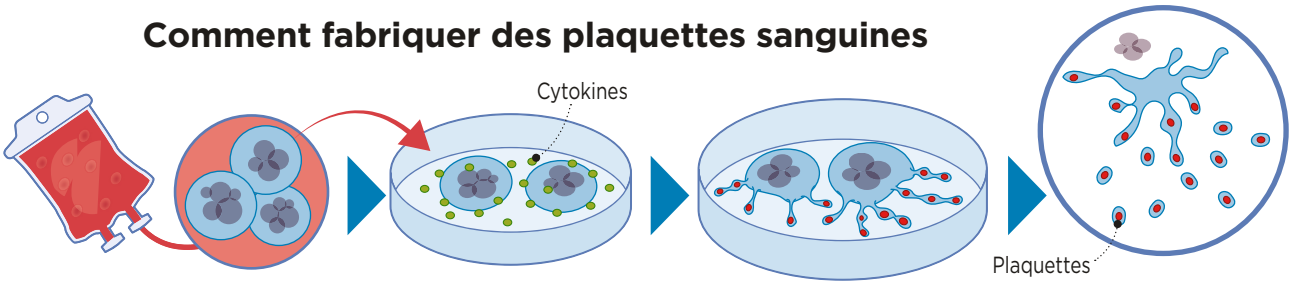
Purification des cellules. Une sur quatre n'est pas un globule rouge fonctionnel parce qu'elle possède encore son noyau.

Répartition des globules rouges concentrés dans des poches pour transfusion.

BRUNO BOURGEOIS

Ce n'est pourtant pas faute d'avoir essayé… depuis des siècles ! Dès la mise en évidence de la circulation sanguine par William Harvey au début du XVII^e siècle, certains ont tenté d'injecter, après une hémorragie ou une saignée, de la bière, du vin ou de l'urine, sans succès. Le 15 juin 1667 à Paris, le médecin de Louis XIV, Jean-Baptiste Denis, réalise la première transfusion sanguine en injectant à un jeune garçon de 15 ans 300 ml de sang d'agneau. Le patient fiévreux guérit de façon spectaculaire. On sait aujourd'hui que la quantité négligeable de sang ovin transfusée n'y est pour rien. Lui en injecter davantage aurait été fatal, faute de compatibilité suffisante entre les sangs humain et animal. À la fin du XIX^e siècle, c'est la transfusion de lait qui connaît une brève heure de gloire alors que l'Amérique du Nord fait face à des épidémies de choléra. Plusieurs éminents spécialistes de l'époque avancent que le lait de vache ou de chèvre injecté permet aux globules blancs de lutter contre l'infection. Les graves effets secondaires observés mettront rapidement fin à cette « voie lactée » peu thérapeutique. D'autant qu'avec la découverte des groupes sanguins en 1900 par l'Autrichien Karl Landsteiner, on compte de moins en moins d'échecs de transfusion de sang humain. La Seconde Guerre mondiale et ses innombrables soldats blessés remettent en exergue l'intérêt d'un substitut de sang humain. Pourtant, malgré les investissements militaires, les désillusions s'accumulent. Le sang est particulièrement délicat à étudier — à peine prélevé, il commence à vieillir et à s'altérer — et très variable chez une même personne au cours de

Comment fabriquer des plaquettes sanguines



Filtration du sang pour récupérer les cellules souches hématopoiétiques CD34+.

Mise en culture pendant 7 à 10 jours. Sous l'effet de cytokines, ces cellules vont se différencier en mégacaryocytes.

Fragmentation des mégacaryocytes en plaquettes sanguines sous l'effet de flux d'air.

2000 plaquettes sont produites « in vivo » par un mégacaryocyte. « In vitro », les rendements restent limités entre 100 et 150.

BRUNO BOURGEOIS

la journée, selon ses repas, son activité physique, ses prises de médicaments… Bref, un véritable casse-tête à reproduire. Les chercheurs se concentrent alors sur l'une des fonctions essentielles du sang, le transport d'oxygène, et développent les hémoglobines artificielles et les perfluorocarbones, deux options abandonnées depuis en raison d'effets secondaires importants.

Pour toutes les équipes qui travaillent sur ces substituts sanguins, l'heure est au changement d'échelle, avec les premiers essais cliniques chez l'humain. *« Dans une poche de sang, il y a 2000 milliards de globules rouges. Si l'on veut que leurs versions de synthèse aient un intérêt en pratique clinique, il nous faut être capable de construire une véritable usine de production »*, explique Luc Douay, aujourd'hui à la tête d'Erypharm, start-up issue de ses travaux académiques sur les globules rouges de culture. Ce qui nécessite des infrastructures d'une tout autre dimension et des investissements massifs : Erypharm aurait ainsi besoin de lever 25 millions d'euros et se heurte à la frilosité des investisseurs.

Même coûteuse, l'alternative au don du sang est nécessaire

Face au don du sang gratuit, le surcoût des cellules sanguines cultivées *in vitro* n'est en effet pas négligeable. *« Nous ne serons jamais concurrentiels sur le plan strictement comptable,* reconnaît d'emblée Luc Douay, qui estime le coût de production d'un culot globulaire (une poche de globules rouges) autour de 1 500 euros, quand l'Établissement français du sang prépare, stocke et redistribue les globules rouges issus des dons pour un coût compris entre 200 et 500 euros le culot. *Mais à partir des cellules souches hématopoïétiques issues d'une prise de sang, on serait capable de produire en culture l'équivalent de 100 poches de sang, alors qu'aujourd'hui chaque don ne permet de faire qu'une seule poche.* »

Une production de cellules sanguines à l'échelle industrielle, moins dépendante de la disponibilité des donneurs, n'aurait pas vocation pour l'heure à remplacer la transfusion. Même au Japon, où la peur de manquer de sang est désormais un enjeu stratégique de santé publique puisque le vieillissement démographique raréfie les donneurs potentiels tout en augmentant le nombre de receveurs éventuels.

En revanche, les cellules de culture répondraient à des situations d'impasse thérapeutique précises comme les groupes sanguins rares ou l'état réfractaire : à force d'être transfusé, l'organisme de certaines personnes se met à détruire les plaquettes qu'on leur injecte et il devient compliqué de trouver des plaquettes immuno-compatibles. *« Il serait utile de savoir produire des plaquettes immunologiquement neutres en supprimant les marqueurs HLA de type 1 par une technologie de type CRISPR-Cas 9* [des ciseaux moléculaires capables de cibler les éléments d'intérêt] », explique Catherine Strassel, directrice de recherche à l'EFS Grand Est à Strasbourg. Sans compter que les spécialistes de la transfusion ne peuvent plus s'empêcher d'anticiper un risque infectieux majeur. Si le Sras-CoV-2 s'était propagé par le sang et non par les aérosols, toute la planète aurait dû arrêter de transfuser. De quoi relancer l'intérêt des alternatives au don du sang, même plus coûteuses. ■ **Afsané Sabouhi**

THÉRAPEUTIQUE

Des médicaments à partir de plaquettes

Outre leur rôle vital de coagulation pour stopper les saignements, les plaquettes sont aussi des médiateurs importants de l'inflammation, et en cas de cancer, elles sont en interaction étroite avec les métastases. L'entreprise américaine Platelet Bio cherche donc à développer leur potentiel de vecteurs de médicaments et travaille à la synthèse de plaquettes cargo. Ces cellules produites *in vitro* exprimeraient des molécules d'intérêt thérapeutique anti-inflammatoire ou antitumoral par exemple. Transfusées au malade, elles pourraient ainsi aller « livrer leurs molécules » directement par la circulation sanguine à l'organe concerné.

PRIX UNIQUE
39€
l'abonnement

31 GRANDS TITRES DE PRESSE À PRIX IMBATTABLE !

Jusqu'à -69% de remise

ruedesétudiants
JE SUIS ÉTUDIANT, JE M'ABONNE

BULLETIN D'ABONNEMENT ÉTUDIANT

A renvoyer complété et accompagné de votre règlement, sous enveloppe non affranchie à :
RUE DES ETUDIANTS - LIBRE REPONSE 82532 - 75803 PARIS CEDEX 08

1. COCHEZ LE OU LES ABONNEMENTS QUE VOUS CHOISISSEZ

ACTUALITÉ INTERNATIONALE

- ☐ **Courrier international** | Hebdomadaire | 26 nos
- ☐ **Vocable** | Bimensuel | 21 nos
  ☐ Anglais ☐ Allemand ☐ Espagnol (cochez l'édition choisie)
- ☐ **Le Monde diplomatique** | Mensuel | 12 nos
- ☐ **La Croix L'Hebdo** | Hebdomadaire | 25 nos
- ☐ **Challenges** | Hebdomadaire | 22 nos
- ☐ **Time** | Bimensuel | 13 nos

ACTUALITÉ GÉNÉRALE

- ☐ **Le Monde Sélection hebdomadaire** Hebdomadaire | 26 nos
- ☐ **Le 1** | Hebdomadaire | 39 nos
- ☐ **Society** | Bimensuel | 24 nos
- ☐ **L'Obs** | Hebdomadaire | 26 nos
- ☐ **Politis** | Hebdomadaire | 18 no

DÉBATS

- ☐ **Études** | Mensuel | 6 nos
- ☐ **La Revue des Deux Mondes** | Mensuel | 6 nos
- ☐ **Le Drenche** | Mensuel | 11 nos
- ☐ **Futuribles** | Bimestriel | 3 nos

SCIENCES

- ☐ **Sciences et Avenir** | Mensuel | 10 nos + 1 no double + 4 hors-séries
- ☐ **Science & Vie** | Mensuel | 12 nos + web illimité
- ☐ **Sport & Vie** | Bimestriel | 6 nos + 2 hors-séries

CULTURE GÉNÉRALE

- ☐ **Sciences Humaines** | Mensuel | 11 nos
- ☐ **L'éléphant** | Trimestriel | 3 nos
- ☐ **Zadig** | Trimestriel | 3 nos

HISTOIRE ET GÉOGRAPHIE

- ☐ **Histoire & Civilisations** | Mensuel | 11 nos
- ☐ **L'Histoire** | Mensuel | 10 nos + 1 no double
- ☐ **Population & Avenir** | Bimestriel | 7 nos
- ☐ **La Revue Urbanisme** | Trimestriel | 6 nos

ART ET PASSION

- ☐ **Beaux Arts magazine** | Mensuel | 10 nos + l'accès au digital
- ☐ **Connaissance des arts** | Mensuel | 8 nos
- ☐ **L'Objet d'art** | Mensuel | 11 nos
- ☐ **Polka** | Trimestriel | 8 nos
- ☐ **Télérama** | Hebdomadaire | 21 nos
- ☐ **So Foot** | Mensuel | 10 nos

2. TOTAL DE MA COMMANDE

- Merci de vérifier si vous avez coché la ou les revues souhaitée(s).

PASCA22

☐ 1 abonnement → 39 € ☐ 3 abonnements → 99 €
☐ 2 abonnements → 69 € ☐ autre (30 € par abonnement supplémentaire), soit ____ abonnements → Total _____ €

3. MES COORDONNÉES

☐ M ☐ Mme Nom _____ - Merci d'écrire en majuscule.
Prénom _____
Adresse (France métropolitaine seulement) _____
_____
Code Postal |_|_|_|_|_| Ville _____
Email _____

J'accepte de recevoir par email des offres de Rue des Etudiants ☐ oui ☐ non
J'accepte de recevoir par email des offres des partenaires de Rue des Etudiants ☐ oui ☐ non

4. JE RÈGLE LA SOMME DE

☐ 39€ ☐ 69€ ☐ 99€ ☐ autre montant _____ €

par chèque à l'ordre de *Rue des Etudiants*

Je certifie être étudiant(e) ☐ Filière _____
Année d'étude _____

En retournant ce formulaire, vous acceptez que *Rue des Etudiants*, responsable de traitement, utilise vos données pour les besoins de votre commande, de la relation Client et d'actions commerciales. Pour connaître les modalités de traitement de vos données et d'exercice de vos droits (accès, rectification, effacement, opposition, portabilité, limitation des traitements, sort des données après décès), consultez notre politique de confidentialité à l'adresse http://www.ruedesetudiants.com/ ou écrivez à notre DPO – 67/69 avenue Pierre-Mendès France - 75013 Paris ou dpo@groupelemonde.fr.

Offre valable jusqu'au 15 décembre 2022

Abonnez-vous encore plus vite et découvrez nos offres numériques sur **ruedesetudiants.com**

Les fruits, ces délicieux alliés de notre santé

Vitamines et antioxydants, mais aussi minéraux et fibres : les fruits regorgent de bienfaits nutritionnels, à condition de ne pas en abuser et de respecter quelques précautions.

Crus ou cuits, frais ou surgelés… Les fruits ont la part belle dans de nombreux régimes alimentaires, dont le méditerranéen, en raison de leurs apports en fibres, en vitamines et en antioxydants, bénéfiques pour la santé.

Le Programme national nutrition santé (PNNS) propose ainsi d'en mettre au menu deux portions de 80 à 100 g par jour, soit l'équivalent d'une pomme ou d'une poire, de deux petits fruits (abricots, etc.) ou de la moitié d'un gros (demi-mangue). Attention toutefois à ne pas en abuser en raison de leur teneur parfois élevée en sucres.

Les fruits sont un concentré de nutriments

Riches en eau et en divers minéraux (320 mg de potassium/100 g de banane, 15 mg de magnésium/100 g d'ananas, 23 mg de calcium/100 g de clémentines), les fruits regorgent de vitamines. En particulier la provitamine A, essentielle à une bonne vision et présente dans les fruits rouges, oranges ou jaunes (melon, pastèque, mangue, etc.). Mais aussi la vitamine C, qui favorise l'assimilation du fer et stimule les défenses immunitaires. Avec 228 mg pour 100 g, la goyave en est la plus riche, devant le cassis (181 mg/100 g), le kiwi (92,7 mg/100 g) et les agrumes (57 mg/100 g d'orange) (1). Ces deux vitamines ne sont pas les seules sources d'antioxydants : les fruits comme la fraise, le litchi, le raisin, l'abricot et la pomme sont une source importante de polyphénols (2).

80,9
kg de fruits
ont été achetés par ménage en France en 2021 contre 85,6 kg en 2020 — année où les ventes ont été dopées par les confinements.
(SOURCE : KANTAR/FRANCE AGRIMER 2021.)

Les privilégier bio

La concentration en antioxydants ainsi qu'en vitamines et en minéraux est plus importante dans la peau que dans la chair du fruit, aussi mieux vaut privilégier les fruits issus de l'agriculture biologique ou raisonnée quand ils ne peuvent pas être épluchés. En effet, les fruits peuvent contenir des résidus de pesticides, comme l'at-

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR - LA RECHERCHE

PROVITAMINE A Appelée aussi bêtacarotène, elle est présente dans les fruits et légumes de couleur orangée (carottes, abricots) et est transformée en vitamine A par le foie.

ANTIOXYDANTS Composés produits par les végétaux pour se protéger des agressions environnementales. Ils sont capables, lorsque nous les assimilons, de neutraliser les radicaux libres.

FRUCTOSE Glucide simple que l'on trouve naturellement dans les fruits et le miel. À la différence du glucose, il est métabolisé par le foie et ne dépend pas de l'action de l'insuline.

teste une enquête élaborée à partir de données de la Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes (DGCCRF) : 89 % des cerises, 87,3 % des raisins, 83 % des nectarines et pêches ou encore 50,8 % des prunes et mirabelles issues de l'agriculture conventionnelle, vendues et consommées en France sont contaminées (3).

Ils réduiraient le risque de diabète

Les personnes qui consomment 230 g de fruits par jour auraient 36 % de risque en moins de développer un diabète de type 2 dans les cinq ans, par rapport à celles qui en dégustent moins de 62 g par jour (4). Néanmoins, certains fruits restent relativement sucrés, tels le raisin (16,5 g de sucre/100 g), le melon, les myrtilles et les cerises (10 g/100 g). Les personnes diabétiques peuvent leur préférer les fraises et framboises (5,4 g de sucre/100 g) ainsi que les abricots (6,7 g/100 g). Les sucres des fruits sont essentiellement du fructose, du glucose et du saccharose — composé de glucose et de fructose —, dans des proportions variables : la pomme et la poire fournissent principalement du fructose (environ 6 g/100 g), le melon, du saccharose (6 g/100 g) et la cerise, du glucose (5,4 g/100 g). Attention à ne pas abuser des pruneaux, pommes, cerises ou raisins car ils contiennent du sorbitol, ce polyol pouvant occasionner des désordres digestifs.

Les consommer frais ou surgelés…

Même surgelés, les fruits tels que les myrtilles et les fraises sont aussi riches en vitamine C et provitamine A que les fruits frais (5). Prudence en revanche avec les conserves de fruits au sirop, par conséquent plus sucrés (14 g de sucres/100 g de poires William égouttées de la marque St Mamet contre 9,4 g/100 g de fruit frais) et avec les fruits séchés (64,7 g de sucres/100 g de dattes), à consommer occasionnellement. Pour la même raison, mieux vaut limiter la confiture (59 g/100 g de sucres pour la confiture de fraises Bonne Maman, soit dix fois plus que 100 g de fraises fraîches) et préférer les compotes sans sucres ajoutés.

… et plutôt entiers qu'en jus

Même fait maison, un jus de fruits perd une grande partie de ses fibres (0,28 g de fibres/100 g de jus d'orange pur jus contre 2,7 g/100 g d'orange entière). Or, celles-ci ralentissent l'assimilation des glucides par l'organisme et régulent le transit. Les fibres dites prébiotiques (pectine, inuline, fructo-oligosaccharides…) présentes dans les bananes, poires, coings et pêches participent également à l'équilibre du microbiote intestinal. En outre, il faut en moyenne deux à trois oranges pour obtenir un jus de 80-100 ml, ce qui accroît d'autant la consommation de sucres. Ainsi une augmentation de 110 ml (un petit verre ou environ un tiers de cannette standard) par jour de boissons sucrées, y compris les jus de fruits, pendant quatre ans, augmenterait le risque de développer un diabète de type 2 de 16 % (6). Santé Publique France recommande de s'en tenir à un verre (environ 200 ml) par jour. ■

Sylvie Boistard @syboistard

ANTHONY FARDET Chercheur en alimentation préventive et durable à l'Inrae de Clermont-Ferrand

Les sucres des fruits sont meilleurs que ceux des produits ultratransformés

« Dans les fruits, les sucres sont associés à des minéraux, des vitamines, des fibres et des antioxydants. Cet effet matrice demande de la mastication, ralentit l'assimilation des sucres, ce qui n'est plus le cas dans un jus de fruits ou dans un produit ultra-transformé (bonbons, pain de mie, gâteaux, etc.), pauvre en nutriments protecteurs. Le fructose en excès, surtout issu du sirop de glucose-fructose, peut notamment poser un problème car il s'accumule dans le foie sous forme de triglycérides, à l'origine de la stéatose hépatique non alcoolique (7). »

(1) Table nutritionnelle Ciqual, Anses.

(2) Daily polyphenol intake in France from fruit and vegetables, Brat P. et al, *Journal of Nutrition*, 2006.

(3) État des lieux des résidus de pesticides dans les fruits et les légumes en France, *Générations futures*, juin 2019.

(4) Associations Between Fruit Intake and Risk of Diabetes in the AusDiab Cohort, Bondonno N. P. et al, *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 2021.

(5) Selected nutrient analyses of fresh, fresh-stored and frozen fruits and vegetables, Li L. et al, *Journal of Food composition and Analysis*, 2017.

(6) Changes in Consumption of Sugary Beverages and Artificially Sweetened Beverages and Subsequent Risk of Type 2 Diabetes, Drouin-Chartier J. P. et al, *Diabetes Care*, 2019.

(7) Fructose and NAFLD : the Multifaceted Aspects of Fructose Metabolism, Jegatheesan P. et al, *Nutrients*, 2017.

RICARDO MORAES/REUTERS - FELIPE COHEN PROJETO MNV - HERENU & FERRONI

Le palais de Saint-Christophe, abritant le Musée national de Rio, a pris feu le 3 septembre 2018 avec 85 à 90 % de ses collections. Sa reconstruction (au centre), débutée en 2021, ne s'achèvera pas avant 2027 (en bas, la maquette du nouveau bâtiment).

Le musée de Rio va renaître de ses cendres

Après que le bâtiment principal du Musée national de Rio de Janeiro, au Brésil, a été presque entièrement détruit par un incendie en 2018, Alexander Kellner, son directeur, bataille pour reconstituer des collections et compte sur la collaboration internationale pour que le musée puisse rouvrir en 2027. Reportage.

Par Erwan Lecomte @Erwan_Lecomte

C'est ce mois de septembre que le Musée national de Rio de Janeiro (Brésil) aurait dû rouvrir partiellement. Soit en même temps que la célébration du bicentenaire de l'indépendance du Brésil. *« Mais tout a été ralenti par l'arrivée de l'épidémie de coronavirus. De plus, l'inflation nous a sérieusement affectés en augmentant considérablement le prix des matériaux, ce qui a amené les entreprises impliquées à revoir leurs tarifs à la hausse »*, déplore Luiz Fernando Dias Duarte, professeur à l'université fédérale de Rio de Janeiro, et directeur du musée entre 1998 et 2002. Le calendrier ne prévoit pas de réouverture avant 2027, avec une exposition d'au moins une dizaine de milliers de pièces. Néanmoins, le chantier avance. Commencés en 2021, les travaux de reconstruction du palais, dont il ne restait plus que les murs, se poursuivent. Et le phénix, gardien de la culture scientifique brésilienne, n'a jamais perdu l'espoir de renaître de ses cendres.

Retour en arrière. Le 3 septembre 2018 au matin, les habitants de Rio de Janeiro découvrent l'horreur : le palais de Saint-Christophe (São Cristóvão), qui abritait la veille encore l'un des plus grands musées d'Amérique latine, n'est plus que cendres fumantes. Quelques mois auparavant, la vénérable bâtisse venait de fêter le bicentenaire de sa fondation. Un court-circuit dans un climatiseur et une défaillance flagrante des moyens de prévention et de lutte contre les incendies auraient conduit à ce drame. *« Le musée faisait face à de nombreuses*

RAPHAËL PIZZINO/UFRJ

La météorite de Bendegó pesant 5 tonnes, trouvée en 1784 à Monte Santo (dans l'actuel État de Bahia), a résisté aux flammes. Elle était entrée au musée en 1888.

CHICO FERREIRA/PENTA PRESS/SHUTTERSTOCK/SIPA

Des archéologues tentent de récupérer des objets du sinistre, en 2020. À peine 50 000 pièces sur environ 20 millions seront sauvées, en plus ou moins bon état.

menaces plus immédiates, explique Luiz Fernando Dias Duarte. *La priorité avait été donnée à la rénovation du toit, ainsi qu'à la lutte contre les termites qui présentent une menace tant pour les collections que pour l'intégrité du bâtiment.* » Concernant les incendies, des mesures avaient été prises, comme la suppression des conduites de gaz qui alimentaient certains laboratoires. « *Mais nous n'avons pas réussi à mettre en place les mesures nécessaires pour pallier la précarité des installations électriques, ni à établir un programme efficace de protection contre les incendies* », regrette-t-il. De plus, le bâtiment où l'incendie s'est déclaré hébergeait de multiples échantillons biologiques conservés dans de l'alcool et du formol, des liquides hautement inflammables qui ont alimenté le brasier.

Un appel à l'aide internationale pour des dons ou des prêts

« *Face à ce désastre, les archéologues ont monté de véritables laboratoires de campagne et se sont lancés dans les fouilles des restes calcinés du musée, comme s'il s'agissait d'un lieu de recherche, afin de tenter de récupérer quelques objets dans les cendres* », raconte Luiz Fernando Dias Duarte. Ces recherches ont permis de récupérer presque 50 000 pièces en plus ou moins bon état. Parmi elles, la météorite de Bendegó, une roche de plus de 5 tonnes, la plus grande jamais découverte au Brésil, et exposée au musée depuis 1888. Mais aussi quelques surprises inespérées comme le crâne de Luiza, le plus vieux fossile d'hominidé d'Amérique du Sud, daté de -11 500 ans approximativement. Conservée dans une caisse en métal au fond d'une armoire, la pièce a pu résister aux flammes. Mais pas de quoi reconstituer une véritable collection.

C'est pourquoi Alexander Kellner, l'actuel directeur du Musée national de Rio, réélu en février 2021, s'est lancé dans une vaste tournée mondiale des lieux d'exposition. « *Le musée ne pourra pas retrouver sa splendeur sans l'aide inter-*

PALAIS DE SAINT-CHRISTOPHE

Une résidence royale devenue musée

Le musée de Rio a la particularité d'avoir connu un déménagement. Lorsqu'il est inauguré, le 6 juin 1818, il est installé sur l'actuelle place de la République de Rio de Janeiro. À l'époque, le Brésil est encore une colonie portugaise. C'est d'ailleurs à l'initiative du roi du Portugal Jean VI que ce « musée royal » est créé. Mais ce qui est alors le tout premier lieu d'exposition à vocation scientifique d'Amérique du Sud n'est rien de plus qu'un simple cabinet de curiosités, rassemblant quelques œuvres d'art de la famille royale, des minéraux et des animaux empaillés. Quatre ans seulement après l'inauguration, le Brésil proclame son indépendance. La structure n'en garde pas moins des liens forts avec l'étranger et s'appuie beaucoup sur le savoir de scientifiques extérieurs à la jeune nation. Ainsi, en 1831, son herbier sera en grande partie constitué par le botaniste allemand Ludwig Riedel, qui deviendra le premier chercheur étranger à y obtenir un poste permanent. En 1889, la monarchie brésilienne des premiers temps est remplacée par une république. Le palais de Saint-Christophe, qui abritait la famille royale, est transformé en centre du savoir scientifique lorsque les républicains en font le nouveau siège du musée de Rio.

nationale, justifie-t-il. *Tous ces lieux ont de nombreuses pièces qui dorment dans des tiroirs, et qui gagneraient à être valorisées. C'est une chance unique de collaboration dans le domaine de la culture, que de permettre aux pays qui nous en feraient don de rayonner auprès de la population brésilienne.* » Pour délicat que soit l'exercice consistant à solliciter des dons sans avoir encore de lieu pour les exposer, tout en promettant que pareil accident ne se reproduira pas, la démarche semble porter ses fruits. « *Nous avons déjà reçu plusieurs donations ou promesses de dons de la part de l'Autriche, du Portugal ou de l'Allemagne, ainsi que de nombreux géoparcs un peu partout dans le monde* », poursuit Alexander Kellner. Des discussions auraient été également conduites avec le musée du Louvre, à Paris, pour d'éventuels prêts de matériel égyptien. Le musée parisien nous a effectivement confirmé des échanges en 2018, juste après l'incendie, mais pas de nouveaux contacts depuis.

Il faut dire que les pertes subies par le musée brésilien ont été colossales. Selon les estimations, entre 85 % et 90 % des collections, soit environ 20 millions de pièces stockées dans le palais, ont disparu dans les flammes. Parmi elles, des fresques de Pompéi, une salle entière dédiée à l'Égypte avec plusieurs momies, mais aussi des collections de meubles et de nombreux objets autochtones. Se sont également évanouis plusieurs fossiles de dinosaures, tels que celui d'un ancêtre du crocodile (*Mariliasuchus amarali*), âgé de 70 millions d'années et considéré comme l'un des plus complets jamais découverts. Ce dernier avait été prêté à Rio par le musée de Paléontologie de Marília, dans l'État de São Paulo. Dans ce contexte d'un fort besoin de constituer rapidement des collections, la tentation pourrait être forte pour le Brésil de jouer la carte de la « guerre des fossiles ». En mars, le chercheur Juan Carlos Cisneros de l'université fédérale de Piauí (nord-est du pays), secondé par une équipe internationale, a ainsi publié un

JEAN-FRANCOIS MONIER/AFP

La reconstitution de collections pose la question du pillage des fossiles au Brésil. Ici, un des 998 fossiles sortis illégalement du bassin d'Araripe et saisis par la douane française en 2013.

article assassin sur les *« pratiques colonialistes en paléontologie »* conduites au Brésil et au Mexique. L'article dénonçait à la fois l'absence d'auteurs locaux dans les travaux d'étude conduits sur des fossiles découverts dans ces deux pays, mais aussi la captation illégale de ces objets. C'est que le Brésil dispose de sites paléontologiques très convoités, tel le bassin d'Araripe, situé entre Ceará, Pernambuco et Piauí. Officiellement, l'exportation de fossiles extraits du sol brésilien est interdite depuis 1990. Mais les auteurs de cet article, qui ont parcouru les publications scientifiques entre cette date et 2021, ont repéré environ 90 pièces qui n'auraient jamais dû quitter le Brésil. Un différend a ainsi éclaté en 2021 au sujet du fossile de ptérosaure d'Ubirajara, découvert au Brésil mais actuellement exposé au musée d'Histoire naturelle de Karlsruhe, en Allemagne. Ce pays serait d'ailleurs le principal détenteur des pièces extraites du bassin d'Araripe. Selon les auteurs de l'étude, 13 holotypes (spécimens ayant permis de définir et décrire un taxon dans la classification des organismes vivants) seraient exposés à Berlin et dix à Karlsruhe.

HERENU & FERRONI

Le nouveau musée comportera des espaces intérieurs modernisés répondant aux normes internationales d'accessibilité et de sécurité (ici, illustration du futur hall d'entrée).

Une architecture intérieure entièrement revue

« Il est certain que nous serions très heureux de récupérer le matériel qui se trouve dans ces institutions, mais la coercition n'est pas le chemin que je veux suivre, confie Alexander Kellner. *L'Allemagne est un partenaire précieux qui nous a fait don de presque un million d'euros dans un moment critique où nous n'avions plus rien. Ils nous ont aidés sans attendre de contrepartie et je tiens à préserver cette relation exceptionnelle.* » Outre les pièces reçues ou promises par des musées étrangers, le musée de Rio a également bénéficié de donations substantielles de la part de particuliers. Ainsi, le collectionneur privé et ancien diplomate Fernando Cacciatore de Garcia a fait don de 27 œuvres gréco-romaines (statues, vases…).

Ces pièces récemment données ainsi que celles ayant survécu aux flammes sont stockées *« en lieu sûr »*, assure Alexander Kellner, en attendant de pouvoir réintégrer un bâtiment qui sera refait à neuf. Les travaux de restauration du musée sont estimés à 380 millions de reals (plus de 70 millions d'euros). *« Les façades du palais de Saint-Christophe vont être restaurées à l'identique, mais nous allons profiter de cette tragédie pour refaire toute l'architecture interne du bâtiment,* détaille le directeur. *À l'origine, le palais était destiné à l'habitation, et pas tellement pour faire circuler des visiteurs. Nous allons donc rendre les lieux plus accueillants et mieux adaptés à un circuit muséographique.* » Les deux tiers de la somme nécessaire aux travaux (244 millions de reals) ont déjà été récupérés. Ces fonds proviennent aux deux tiers du secteur privé (la banque Bradesco et la compagnie minière Vale) et pour le reste, de la Banque nationale de développement scientifique et technologique (BNDES). Une entité rattachée au ministère brésilien de l'Économie, et dont l'objectif est de financer des projets contribuant au développement du pays. *« Nos travaux ont pu commencer, et je suis très optimiste pour la suite »*, martèle Alexander Kellner. En espérant que la crise économique déclenchée par le conflit ukrainien ne conduise pas à de nouveaux retards. ■

LE + NUMÉRIQUE
Peu avant l'incendie, la visite du musée avait été entièrement numérisée, en partenariat avec Google. Un parcours désormais uniquement virtuel à découvrir ici : **sciav.fr/907rio**

MUSEU NACIONAL/UFRJ

« Je ne veux pas employer la coercition pour récupérer les pièces qui se trouvent à l'étranger »

Alexander Kellner, directeur du Musée national de Rio (Brésil)

SCIENCES ET AVENIR
La Recherche

L'ARABIE SAOUDITE

s'ouvre au Monde

C'est à une exploration de trésors archéologiques extraordinaires que Sciences et Avenir - La Recherche convie aujourd'hui ses lecteurs dans un pays qui commence tout juste à s'ouvrir aux touristes. Qui dit Arabie Saoudite pense surtout or noir et pays hermétique. Mais le royaume, de son côté, pense déjà à l'après-pétrole. D'où l'ouverture des frontières décidée dès l'année 2019, refermées pour cause de Covid19 puis ré-ouvertes, ce qui autorise ce voyage inoubliable. Spécialement pour notre groupe, des scientifiques amis de notre magazine décrypteront l'histoire du pays à travers les siècles, et tout particulièrement de la légendaire civilisation des Nabatéens, mentionnée dans la Bible et le Coran. Il sera ainsi possible de découvrir une oasis aussi renommée que celle d'Al-'Ulâ, dans la province de Médine, pour laquelle un partenariat de cinq ans avec l'Unesco a été signé à l'automne 2021 par la « Commission Royale pour Al-'Ulâ ». Un gigantesque centre de recherche en archéologie doit y être installé. Le désert de ce qui est le plus grand pays du Moyen-Orient, jadis arpenté par Lawrence d'Arabie et depuis vingt ans par d'éminentes équipes françaises d'archéologues, recèle en effet des architectures monumentales spectaculaires. Autre étonnante vision, celle des grandes villes - Djeddah, inscrite au patrimoine mondial de l'Unesco et la capitale Riyad avec son célèbre gratte-ciel pyramidal surmonté d'un globe de verre, conçu par la star de l'architecture high-tech Norman Foster. Un voyage exceptionnel en perspective.

DOMINIQUE LEGLU, *directrice éditoriale de Sciences et Avenir - La Recherche*

BERNADETTE ARNAUD, *grand reporter à Sciences et Avenir - La Recherche*

5 990 € par pers. en chambre double | 10 JOURS / 9 NUITS | www.sav-alula.fr | Tél. 01 84 76 22 35

DU 12 AU 22 NOV. 2022 | AVEC **BERNADETTE ARNAUD**, Grand reporter et **VINCENT CAPDEPUY** Géohistorien spécialiste d'histoire globale.

DU 3 AU 13 DÉC. 2022 | AVEC **DOMINIQUE LEGLU**, Directrice éditoriale et **MARIE-CHRISTINE DE WARENGHIEN** Experte de la destination Moyen-Orient a vécu plus de 12 années aux émirats.

LES POINTS FORTS

Le vol direct PARIS- DJEDDAH / RIYAD- PARIS | Des sites classés au patrimoine mondial de l'Unesco | 3 nuits exceptionnelles au SHADEN resort | L'itinéraire le plus complet proposé | Le trajet en train Jubbah RIYAD | Les vols intérieurs. | Des hôtels sélectionnés (malgré une infrastructure hôtelière pas toujours adaptée) | Un spécialiste de la destination | Des conférences dans vos hôtels.

COLLECTION Infini — Mycomm

SARL Mycomm - 40 avenue Raspail - 94250 Gentilly • Immatriculation Atout France IM094100035 • Assurances Professionnelles by Hiscox - Tourisme Pro n° RCE1006 et n° RC1006-PI0116 • Agence garantie par l'APST • RCS 510 368 400

BARBARA HUBER
ARCHÉOLOGUE À L'INSTITUT MAX-PLANCK DE LA SCIENCE DE L'HISTOIRE HUMAINE À IÉNA (ALLEMAGNE)

« Les archives olfactives vont ouvrir un nouveau champ de l'archéologie »

Une batterie de nouvelles technologies permet aux archéologues de reconstituer les odeurs du passé de façon inédite. Rencontre avec la scientifique pionnière dans cette ambition de faire revivre les fragrances disparues pour qu'elles deviennent un objet d'étude comme les pierres et les ossements.

Qu'espérez-vous déclencher chez les archéologues en recensant toutes les nouvelles techniques permettant de reconstituer les odeurs du passé ?
Nous souhaitons les encourager à s'intéresser de plus près à ces odeurs d'antan, dans la mesure où de plus en plus de technologies le permettent. Au cours de la dernière décennie, de nombreuses études ont porté sur les aspects sensoriels du passé tels que le son, l'odeur, le toucher ou les émotions. Si l'échantillonnage des substances organiques, comme les substances odorantes anciennes, devenait plus systématique lors des fouilles, nous pourrions étudier les paysages olfactifs du passé de manière plus globale.

Dans le passé, les odeurs étaient-elles plus marquées qu'aujourd'hui ?
Il est difficile de répondre à cette question en raison du manque de données olfactives dont l'archéologie dispose. Nous autres Occidentaux, supposons souvent que nos ancêtres vivaient dans un monde où les odeurs étaient beaucoup plus intenses qu'elles ne le sont aujourd'hui. Un monde sans douches quotidiennes, sans dentifrice, sans produits d'entretien ni systèmes d'égouts, où les restes de nourriture et les matières fécales étaient jetés dans les rues et où de l'encens était brûlé dans des proportions faramineuses (pour masquer les odeurs). Pourtant, il faut garder en tête qu'environ 46 % de la population mondiale n'a toujours pas d'égouts. L'encens n'est pas qu'une substance du passé, il est encore utilisé quotidiennement dans le monde entier, souvent enraciné dans des traditions. Comparer les époques d'un point de vue olfactif n'est pas réellement pertinent.

Dans quelle mesure la connaissance de ces odeurs est-elle déterminante pour comprendre notre passé ?
L'olfaction a un effet majeur sur la façon dont nous percevons le monde. Lorsque les molécules odorantes présentes dans l'air atteignent nos narines et se fixent sur l'épithélium olfactif, des signaux sont envoyés vers la région du

CHRIS LEIPOLD

BIO EXPRESS

- **2012 :** Débute ses études d'archéologie à l'université libre de Berlin (Allemagne).
- **2014 :** Première participation à la fouille de l'oasis antique de Tayma, en Arabie saoudite.
- **2018 :** Termine sa thèse sur le profilage métabolique des résidus d'encens dans les objets archéologiques.
- **2019 :** Entame son programme de doctorat à l'Institut Max-Planck pour la science de l'histoire humaine.
- **2022 :** Reçoit une bourse de recherche de l'Association for Environmental Archaeology.

WERNER FORMAN ARCHIVE / AURIMAGES

Ces riches invitées d'un banquet, peintes sur la paroi d'une tombe de l'Égypte antique (vers 1350 avant J.-C.), portent des perruques surmontées de cônes d'onguent parfumés.

cerveau impliquée dans les processus liés aux émotions, à la cognition et à la mémoire. Cela signifie que nous réagissons aux *stimuli* olfactifs avant même d'en avoir conscience. Ils nous alertent sur des risques pour la santé, modifient nos comportements et nos réponses physiologiques, façonnent nos actions et nos choix, guident nos émotions et déclenchent nos souvenirs. Le fait que les expéditions, les guerres et les échanges sur de longues distances ont souvent reposé sur des tentatives d'acquisition de matières obscures aux propriétés olfactives puissantes, comme l'encens et les épices, témoigne de cette importance. En somme, cette dimension sensorielle peut nous éclairer sur de nombreux aspects de l'histoire de l'humanité : la nature des rituels, la parfumerie, l'hygiène, la cuisine, le commerce… Mais aussi sur des aspects plus généraux du passé, de la hiérarchie et des pratiques sociales à l'identité de groupe.

Les odeurs pouvaient-elles justement jouer des rôles sociaux spécifiques ?
Tout à fait. Dans la société égyptienne antique, par exemple, il existait une « hiérarchie olfactive » : les types de parfums que les gens portaient étaient intimement liés à leur statut social. Certaines odeurs étaient réservées aux dieux ou au pharaon, tandis que d'autres étaient propres à certaines professions. Selon l'égyptologue Dora Goldsmith, l'occupation du pêcheur, qui travaillait toute la journée dans les marais dangereux et malodorants pour attraper des poissons, était considérée comme la plus dégradante de toutes les professions.

Où en sommes-nous aujourd'hui en matière de reconstitution des odeurs du passé ?
Nous manquons cruellement de preuves matérielles tangibles. La plupart des études réalisées sur les odeurs anciennes s'appuient essentiellement sur des sources écrites ou des représentations visuelles. Mais ces études se heurtent à la difficulté d'identifier les noms des plantes anciennes. Par exemple, la majorité des textes cunéiformes ou égyptiens ne comportent pas de mention des substances odorantes utilisées pour aromatiser les aliments, pour soigner ou fabriquer des parfums. Et quand bien même ces noms de plantes sont mentionnés dans ces textes, ils peuvent rarement être traduits et reliés aux taxonomies modernes avec certitude. Enfin, cette nomenclature végétale est dynamique : lorsqu'elle passe de langue en langue, une dénomination peut parfois changer totalement de sens.

Il faudrait donc renoncer à essayer de retrouver ces fragrances perdues ?
Surtout pas ! À ce jour, seules quelques analyses biomoléculaires et « omiques » (génomique, métabolomique, protéomique…) des substances odorantes du passé ont été réalisées. Or, nous pensons que ces études ouvrent un tout nouveau niveau d'identification des odeurs anciennes. Il est aujourd'hui possible de récupérer et d'analyser des molécules rares conservées dans des « archives olfactives ». Elles peuvent être des objets archéologiques associés à l'utilisation de substances aromatiques, tels que des brûle-parfums, des flacons, des marmites ou des récipients de stockage. Des éléments plus grands ayant un usage plus général, comme les rues d'une ville, ou même des éléments corporels — du tartre dentaire ou des restes momifiés — peuvent également servir d'archives olfactives. Il faut rassembler les différentes sources d'information, en reliant les études biomoléculaires aux textes anciens, aux représentations et au contexte archéologique et environnemental. Nous pourrions ainsi découvrir de nouveaux aspects du monde ancien, de l'évolution de nos sociétés et de nos cultures, et de notre évolution en tant qu'espèce. ■

Propos recueillis par Marine Benoit
@ marin_eben

FREDERIC CIROU / AFP

Une tondeuse à gazon utilisée sans protection (90 dB) peut causer des traumatismes auditifs.

Cinq questions pour préserver son audition

Prévention, diagnostic et appareillage permettent de préserver son audition à tous les âges. Revue des bons réflexes et équipements utiles.

Par Régis de Closets, avec Agence Forum News

1 Comment notre audition vieillit-elle ?

Comme toute fonction de notre organisme, l'audition est une faculté qui s'érode avec l'âge. Ce vieillissement — appelé presbyacousie — s'enclenche avant même que l'on ne ressente de gêne puisqu'il affecte en premier les fréquences aiguës, les moins perceptibles. Les femmes paraissent moins touchées grâce aux œstrogènes, dont les vertus sont protectrices pour les tympans : les premiers signes de perte d'audition se manifestent autour de 30 ans chez les hommes… mais à 50 ans chez les femmes ! Le principal facteur de risque reste les nuisances sonores extérieures. Les précieuses cellules ciliées logées dans l'oreille interne et chargées de réceptionner les sons pour les transmettre au cerveau se dégradent précocement sous l'effet de sons trop forts ou écoutés trop longtemps (le seuil de 85 décibels (dB) est jugé limite et celui de 115 dB entraîne des dommages immédiats). *« La cochlée qui héberge ces cellules est un organe très performant mais qui a peu évolué depuis Neandertal,* explique le professeur Jean-Luc Puel, directeur de l'Institut de neurosciences de Montpellier. *Elle est mal adaptée à nos environnements bruyants.* »

2 Comment notre environnement contribue-t-il aux problèmes auditifs ?

Si un décollage d'avion (120 dB) ou une tondeuse à gazon utilisée sans protection (90 dB) peuvent causer des traumatismes auditifs, notre environnement quotidien maltraite aussi de manière insidieuse nos oreilles. Musique dans nos écouteurs, brouhaha des conversations ou vrombissements de la circulation : une vraie « pollution sonore » nous entoure, sans que nous en ayons souvent conscience. Et pour cause : les volumes sonores n'y dépassent généralement pas les 85 dB réglementaires. Pourtant, l'exposition prolongée à ces sons peut suffire à malmener une autre partie clé de notre audition : le nerf auditif. Celui-ci assure le traitement du signal par le cerveau, autrement dit la bonne compréhension des sons reçus. Moins les neurones y sont nombreux, moins facilement l'on comprend ce que l'on entend. *« Cela oblige le cerveau à un effort plus important pour décrypter les sons, ce qui peut conduire à des phénomènes d'acouphènes ou à une plus grande difficulté à suivre des conversations »*, précise Jean-Luc Puel.

3 Comment prévenir les risques au quotidien ?

Une audition sereine suppose un environnement apaisé. Sans sons trop violents ni brouhaha continu… Pas facile : en 2011, l'Organisation mondiale de

36 % des Franciliens estiment que la « pollution sonore » est l'un des inconvénients majeurs pour habiter la région. (Étude Bruitparif/Credoc 2021.)

1,6 million d'années de vie en bonne santé perdues sur la planète à cause des nuisances liées aux bruits de la circulation. (Rapport OMS 2018.)

REJOIGNEZ **LE PREMIER PÔLE SCIENTIFIQUE** DE LA PRESSE FRANÇAISE

SCIENCES ET AVENIR La Recherche

LE MENSUEL

LE HORS-SÉRIE

UNE INFORMATION THÉMATIQUE CLAIRE ET VIVANTE

Chaque trimestre, une thématique étudiée sous tous ses aspects, en compagnie des plus grands spécialistes.

UNE VISION COMPLÈTE DE LA SCIENCE

Chaque mois, toute l'actualité scientifique, dans un langage accessible.

Retrouvez toutes nos offres d'abonnement sur sciencesetavenir.fr

39 JOURNALISTES PASSIONNÉS

19 PARUTIONS PAR AN

2,5 MILLIONS DE LECTEURS

2,6 MILLIONS DE SOCIO-NAUTES

7,3 MILLIONS DE VISITEURS SUR LE SITE

3 APPLICATIONS IOS/ANDROID

La Recherche

LE TRIMESTRIEL

LA RÉFÉRENCE INCONTOURNABLE

Chaque trimestre, un panorama complet en 150 pages de la recherche scientifique.

Retrouvez toutes nos offres d'abonnement sur larecherche.fr

2 SITES POUR DES INFOS EXCLUSIVES

TOUTE L'ACTUALITE SCIENTIFIQUE QUOTIDIENNE

2 sites au service de l'actualité scientifique, de la plus accessible à la plus innovante. **Des articles quotidiens** pour être à la pointe de la science.

Vos questions en direct aux chercheurs sur https://www.twitch.tv/sciencesetavenir/

plus de 2,2 millions de fans !

plus de 160 000 followers

plus de 163 000 instagrammeurs

Plus de 7 000 abonnés professionnels

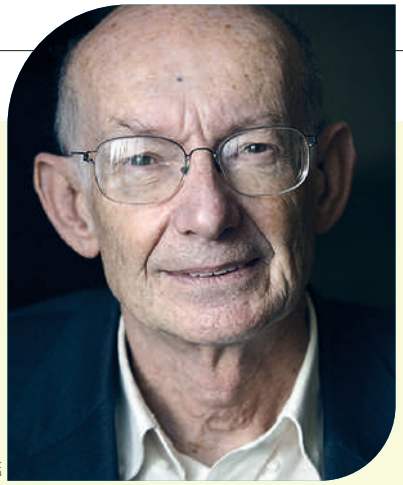
plus de 17 000 abonnés

PROMINT-SCAV2

AVIS D'EXPERT

PR PAUL AVAN, DIRECTEUR DU CERIAH À L'INSTITUT PASTEUR (1)

« Faire des bilans auditifs dans le bruit »


DR

Vous avez rendu publics au début 2022 les premiers résultats d'une étude sur les effets de la musique surcompressée (2). Quelles leçons en tirez-vous ?
La plupart des plateformes numériques de musique ou logiciels de télétravail utilisent un modèle de compression dynamique des sons qui supprime les microsilences présents dans les musiques ou conversations. Or, même s'ils sont à peine perceptibles, ces microsilences ont un rôle important pour nos neurones auditifs : ils leur permettent de se réorganiser pour traiter correctement les sons qu'ils adressent au cerveau. Cela réduit l'effort d'écoute nécessaire au cerveau et la sensation de fatigue associée. Nos travaux montrent que l'écoute prolongée de ces sons compressés altère les neurones et peut à terme fragiliser notre appareil auditif.

Faut-il renforcer le diagnostic des troubles auditifs pour prévenir ces risques ?
Certainement ! Il est essentiel de diagnostiquer plus largement mais aussi de faire plus de bilans auditifs dans le bruit. Ces bilans sont traditionnellement réalisés dans le silence, ce qui ne permet pas de bien mesurer l'activité de nos neurones auditifs. Le développement de bilans auditifs dans le bruit fait d'ailleurs partie des recommandations de la Haute Autorité de santé. ■

Propos recueillis par R. de C.

(1) Centre de recherche et d'innovation en audiologie humaine.
(2) Étude du laboratoire Neuro-Dol de l'université Clermont-Auvergne.

la santé alertait déjà sur le fait qu'un Européen sur cinq dormait avec trop de bruit, du fait du voisinage ou… des ronflements du conjoint ! Des métropoles comme Paris ou New York ont lancé des plans contre la pollution sonore. L'enjeu clé est le déploiement d'espaces calmes permettant de reposer son audition, au bureau ou dehors. « *On réfléchit à des labels qui permettraient de référencer certains de ces espaces calmes pour en faciliter l'accès* », explique Fanny Mietlicki, directrice de Bruitparif, l'observatoire francilien de lutte contre le bruit. La préservation de l'audition passe aussi par l'hygiène de vie au quotidien. Si l'obésité double le risque de développer des troubles auditifs (étude université Columbia, 2013), un régime alimentaire sain de type méditerranéen aurait un effet protecteur avéré : des chercheurs de l'université Harvard (États-Unis) ont observé en 2019 une réduction significative des risques de pertes auditives associées chez les femmes de plus de 50 ans.

4 Quand se faire équiper ?

Les 2 450 000 Français équipés d'aides auditives en 2021 (source Snitem) restent bien peu nombreux au regard des 25 % d'adultes qui seraient touchés par une forme de déficience auditive selon une récente enquête de l'Inserm et l'université Paris-Cité. Consulter un ORL est nécessaire dès les premiers signes de gêne, sachant que l'appareillage s'opère à partir d'une perte minimale de 30 dB. Pour faciliter la sensibilisation, la Fondation pour l'audition a récemment sorti une application gratuite, Höra, qui permet de réaliser un premier autotest. Diverses études éclairent sur les risques d'effectuer un appareillage tardif. Outre le fait que la dégradation des facultés d'audition s'accélère avec le temps, la prévalence d'autres maladies augmente également. Des chercheurs de l'université Johns-Hopkins (États-Unis) ont calculé qu'une perte auditive non traitée pouvait multiplier par deux le risque de survenue d'Alzheimer en cas de perte légère, et par cinq en cas de perte sévère. À l'inverse, le port d'aide préserve la mémoire — en plus de réduire le risque de démences, selon une publication de l'université d'Exeter (Royaume-Uni) en 2019.

5 Quelles aides auditives choisir ?

Toujours plus discrètes, les aides auditives sont enrichies de technologies visant à améliorer le confort d'écoute des utilisateurs. Le fonctionnement des appareillages repose sur un microphone captant les sons, amplifiés et restitués au plus près de l'environnement sonore de l'individu. Quand cet environnement est complexe (avec des sources de bruit multiples), le porteur peut avoir une sensation confuse de « brouillard auditif ». De nouvelles générations d'appareils, s'appuyant sur le *deep learning* et l'IA, tentent de corriger ces limites en affinant la sélection et l'amplification des sources sonores. « *Nous nous appuyons sur un réseau neuronal profond entraîné sur 12 millions de scènes sonores pour nettoyer cette sensation de "brouillard" dans la plupart des situations* », explique Éric Bourgerolles, directeur de l'audiologie pour Oticon France. La connectivité renforcée est un autre argument des constructeurs dont les modèles avancés peuvent relier directement les prothèses aux téléphones, téléviseurs ou ordinateurs connectés. ■

Le Parisien

PRÉSENTE SON FESTIVAL

Paris PARADIS

— 16, 17, 18 SEPT. 2022 —

PARC DE LA VILLETTE

Musique

- M - EN ACOUSTIQUE · PATRICK BRUEL

PETER DOHERTY & FRÉDÉRIC LO · TIAKOLA · JENIFER

MICKEY 3D · CHARLIE WINSTON · GUY2BEZBAR

CHRISTOPHE WILLEM · BILAL HASSANI · EMMA PETERS

AXEL BAUER · FLORENT MARCHET · SANTA · CATS ON TREES...

Humour

KYAN KHOJANDI · NAWELL MADANI · THOMAS VDB

ALEX VIZOREK · PANAYOTIS PASCOT · DJIMO

BAPTISTE LECAPLAIN · WALY DIA · FABIEN OLICARD

ANTHONY KAVANAGH · LE CAS PUCINE...

ILLUSTRATIONS : FLORAGRESSARD.COM

la Villette · Cabaret Sauvage · orange · RATP · motto

Région Île-de-France · eau de Paris · cité sciences et industrie · See TICKETS · RTL2 · TMC · My Little Paris

TRANSVERSALES

SOMMAIRE

▶ C'est à lire
p. 88

▶ C'est à voir
p. 92

▶ Le ciel du mois
p. 93

▶ Chroniques
p. 94

▶ Questions de lecteurs
p. 96

▶ Solutions des jeux
p. 97

▶ Jeux
p. 98

HERITAGE-IMAGES/CM DIXON/AKG IMAGES

Les recherches historiques et archéologiques (ici des pièces d'un jeu d'échecs) ont notamment permis à l'auteur de montrer des sociétés plus raffinées que l'image de « barbares » qu'on leur connaît.

Dans les secrets des Vikings

Avec ce récit aussi vivant qu'érudit, l'archéologue Neil Price renouvelle notre regard sur ces peuples venus de Scandinavie.

IMMERSION Voilà plus de trente ans que l'archéologue britannique Neil Price étudie les Vikings. Et son constat est sans appel : l'image que nous avons d'eux reste largement stéréotypée — des barbares écumant les mers à bord de leurs drakkars et commettant pillages et saccages avec une extrême brutalité. Avec *Les Enfants du frêne et de l'orme*, le scientifique cherche à renouveler la compréhension que nous avons de ces peuples, en nous immergeant dans leurs modes de pensée et de fonctionnement. Et ça marche !

Au fil de descriptions aussi vivantes que méticuleuses, alimentées par les recherches archéologiques et historiques les plus récentes, Neil Prince nous fait toucher du doigt le quotidien — politique, social, spirituel, matériel, artistique, etc. — de ces peuples qui ont dominé l'Europe du Nord (et même au-delà) entre le VIIIe et le XIe siècle. On découvre des Vikings *« pointilleux sur leur apparence »*, amateurs d'une cuisine *« variée et raffinée »* (dont on ne conserve hélas aucune recette…), dotés d'une conception de l'âme *« complexe »* (elle était divisée en quatre parties), *« précurseurs »* en matière d'identité sexuelle et de genre, *« [ouverts] aux expériences et aux idées nouvelles »* (ils ont traversé les territoires d'une quarantaine de pays actuels et rencontré plus de cinquante cultures).

À ce stade, on pourrait se demander si le livre ne remplace pas une vision caricaturale par une autre. Ce serait mal connaître Neil Price, qui s'attarde longuement sur les aspects les moins reluisants des sociétés vikings, rappelant par exemple leur recours aux viols rituels et aux massacres, ou leur rôle central dans le commerce et l'exploitation des esclaves. ■

Vincent Glavieux

Les Enfants du frêne et de l'orme,
Neil Price, Seuil, 640 p., 27 €

La guerre enterrée

DÉFENSE C'est le livre de l'imposante exposition qui vient de se terminer au musée de la Grande Guerre de Meaux (Seine-et-Marne), consacrée au système défensif de la tranchée. L'ouvrage reprend les étapes du parcours de l'exposition, tout en étoffant les éclairages historiques et la partie consacrée à la représentation de la tranchée (dans les écrits des soldats, dans la presse satirique, dans les arts) est particulièrement mise en valeur (lire notre reportage : sciav.fr/904tranchee). ■ **A. D.**

Tranchées. Le « système-tranchées » pendant la grande guerre, collectif, Silvana Editoriale, 222 p., 29 €

Les mystères de la Terre

ODYSSÉE Quatre milliards d'années auront été nécessaires pour passer d'une planète brûlante frappée par des bolides à notre monde actuel. C'est cette odyssée extraordinaire que nous relate Anne Nédélec, professeure à l'université de Toulouse, qui a consacré trente ans de

recherches sur le passé ancien de la Terre. Cette dernière a été peu à peu façonnée par des forces géologiques et l'apparition des êtres vivants, les unes et les autres s'influençant mutuellement. Une somme, qui fait le point sur les découvertes les plus récentes en géologie. ■ **S. R.**

La Terre et la Vie. Une histoire de 4 milliards d'années, Anne Nédélec, OdileJacob, 352 p., 25,90 €

Le miracle de la gravité

BD Qui songe en remplissant sa tasse de café que cette action est rendue possible par la gravité. Cette force omniprésente régit en effet notre quotidien. Mais

pourquoi les objets chutent-ils alors que les étoiles ne tombent pas sur nous ? Cette bande dessinée conçue par le Sud-Coréen Jo Jin-Ho, enseignant en sciences, retrace non sans humour le cheminement des idées qui ont permis au fil des siècles de définir le phénomène de la gravité et de comprendre comment il organise l'Univers. Succès d'édition en Corée, cet ouvrage se dévore dès 13 ans. ■ **S. R.**

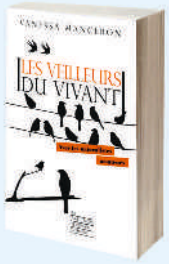
Gravité Express, Jo Jin-Ho, Ginosko, 320 p., 25 €

Un laboratoire ouvert sur la mer

ÉCOSYSTÈME Pour ses 150 ans d'existence, la station biologique de Roscoff (Finistère) s'offre un beau livre,

au contenu accessible et richement illustré. Plongez dans l'histoire trépidante de ce lieu fondé par le visionnaire Henri de Lacaze-Duthiers, qui offre aux biologistes de l'époque un accès inédit au milieu marin. Une traversée passionnante avec en toile de fond les grands enjeux (pollution, perte de la biodiversité, réchauffement climatique) qui secouent les écosystèmes marins. ■ **M. G.**

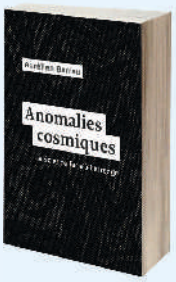
La Station biologique de Roscoff. Au cœur des sciences marines, sous la direction de Fabrice Not, Éditions Locus Solus, 192 p., 25 €



À l'écoute des observateurs de la nature

ENQUÊTE Avec discrétion, patience et méthode, les naturalistes amateurs sillonnent nos campagnes — et parfois nos villes —, pour observer et enregistrer plantes, insectes, oiseaux… L'anthropologue Vanessa Manceron s'est intéressée à ces *« veilleurs du vivant »*. Son terrain ? Le Royaume-Uni, pays par excellence de ce passe-temps. La pratique, née au XVIe siècle, y fait écho à une *« culture patrimoniale verte »* très ancrée. Elle exacerbe aussi la conception locale de la vie sauvage, selon laquelle plantes et animaux sont des *« êtres autonomes et différents »* avec qui nous cohabitons au sein d'un seul et même habitat. L'enquête, fascinante — déroutante même parfois —, suit ainsi Liz, Dudley ou encore Robin, décryptant la passion de l'une pour les plantes à fleurs sauvages, l'engagement de l'autre pour la sauvegarde des papillons, etc. Et montre à quel point la pratique naturaliste, même à l'heure des études phylogénétiques et des applications de reconnaissance de la faune et de la flore, reste *« un procédé puissant pour se relier avec le vivant »*. **V. G.**

Les Veilleurs du vivant, Vanessa Manceron, La Découverte, 320 p., 21 €

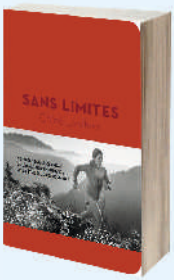


Bizarreries prometteuses

THÉORIES En physique, l'anomalie est une bonne nouvelle car elle peut mener à des découvertes bouleversant les théories en cours. Aurélien Barrau, astrophysicien et vulgarisateur de talent, dresse ici la liste de bizarreries prometteuses. Comme la matière noire, dont la nature demeure inconnue bien qu'elle représente 27 % de la densité totale d'énergie dans l'Univers. Ou encore l'énergie noire, à l'origine de l'accélération de l'expansion de l'Univers, dont on ne sait pas plus. Jonglant entre l'infiniment grand et l'infiniment petit, l'auteur nous plonge aussi en plein modèle standard des particules, où les indices s'accumulent pour dire qu'il semble incomplet. Enfin, il faut savoir aussi identifier des anomalies qui ne nous apparaissent pas encore comme telles… La vie, par exemple : est-elle cantonnée à la Terre ou bien universelle ? L'ouvrage s'éloigne ainsi de la physique pour des questionnements plus fondamentaux, et non moins passionnants. ■

Fabrice Nicot

Anomalies cosmiques, Aurélien Barrau, Dunod, 208 p., 17,90 € (en vente le 7 septembre)



Dépassement physique

GUIDE Comment se forger une carrure d'athlète ? Par quels moyens améliorer son endurance, appréhender l'effort physique et faire évoluer son mental grâce à une pratique sportive dont les bienfaits rayonnent sur la vie en général ? *« Le cerveau est votre moteur, je vous donne les clés pour l'entraîner »*, affirme Chloë Lanthier, sportive de haut niveau, diplômée en biomécanique et performance humaine. L'auteure de ce guide illustré par des dessins explicatifs et des photos s'appuie en partie sur son expérience et décortique la physiologie du cerveau, en insistant sur les effets positifs de l'entraînement d'endurance sur sa plasticité et sur la nécessité d'apprendre à contrôler ses émotions. Plus que de limites physiques, Il s'agirait ici d'outrepasser celles du mental, d'agir sur la perception de l'effort, car *« la fatigue est un état d'esprit : quand vous sentez que vous voulez arrêter, vous n'avez atteint que 50 % de votre potentiel ! »* ■ **Andreina De Bei**

Sans limites, Chloë Lanthier, Paulsen, 288 p., 29 €

La carte et le territoire

CARTOGRAPHIE Ce livre imposant est l'œuvre d'un fin connaisseur de cartographie, qui, directeur de recherche au CNRS, nous fait découvrir les arcanes de la production cartographique française sur les 250 dernières années par ceux qui en étaient chargés, du Dépôt de la guerre, dès 1802, au Service géographique de l'armée et à l'Institut géographique national. Publié après consultation de 40 000 documents d'archives, ce livre *« propose de combler un vide, qui [...] a peu d'équivalents, aussi bien pour la France que pour les autres pays du monde »*. ■ **B. A.**

La Carte de France. Histoire et techniques, Jean-Luc Arnaud, Éditions Parenthèses, 352 p., 56 €

Un autre modèle de développement

BD Notre système économique fondé sur la croissance à tous crins est en train de montrer ses limites. À l'ère du réchauffement climatique, de la destruction accélérée du vivant et des écosystèmes, quel modèle économique pourrait assurer le futur des êtres humains ? Anthony Auffret nous propose un voyage dessiné au sein de cette problématique. Léger et drôle dans le dessin, pointu et documenté dans la démonstration, l'ouvrage aborde les éventuelles solutions ainsi que les impasses où risque de nous conduire cet oxymore de la *« croissance verte »*. ■ **H. R.**

Le Mirage de la croissance verte, Anthony Auffret, Delcourt, 152 p., 18,95 €

Les superpouvoirs de l'intestin

BD Lorsque Jeff Huxley, un milliardaire, met au point l'Eubiosa, un cocktail de bactéries censé garantir longue vie en bonne santé, les journalistes se bousculent pour l'annonce de ce *« meilleur des mondes »*. L'une d'entre eux, Alice, aidée d'un mystérieux scientifique, va tenter de faire comprendre au philanthrope que notre microbiote ne peut se résumer à un cocktail de quelques bactéries. Ayant reçu le soutien de l'Inserm de Nantes, cet album didactique et drôle est une mine d'informations, sublimées par le trait de la dessinatrice. ■ **H. R.**

Voyage au centre du microbiote, Fäst et Héloïse Chochois, Delcourt, 184 p., 19,99 €

Chemins de traverse

VOYAGE Pendant trois ans, des Highlands à l'Espagne, et du Tibet à la Palestine, l'écrivain voyageur Robert Macfarlane a sillonné en marchant des lieux emprunts d'histoire, de guerres, de mythes, d'exploration antique et de pèlerinages. Sous sa plume, l'incursion de mots d'une langue lointaine transforme la tentation de l'exotisme en rencontre sincère, et l'évocation d'illustres prédécesseurs sur les chemins du monde en compagnonnage des âmes. Dans ses récits l'érudition n'est jamais pesante, elle accompagne poétiquement les pas du voyageur. **A. De B.**

Par les chemins, Robert Macfarlane, Les Arènes, 528 p., 24 €

Comment sortir de l'obésité

SANTÉ L'obésité se développant rapidement en France et dans le monde, il était temps de faire un bilan de ce que l'on sait de cette pathologie, mais aussi des moyens actuels de la traiter. *La Vérité sur l'obésité* remplit parfaitement cet objectif. L'engrenage de la maladie ainsi que les multiples facteurs qui y contribuent, notamment génétiques, alimentaires et psychologiques, sont détaillés avec les dernières données scientifiques. L'obésité ne se guérit pas mais les divers moyens pour la prévenir ou la traiter aux différents âges de la vie y sont décrits. Les fausses pistes offertes par certains médicaments ou régimes et l'intérêt variable des différentes chirurgies de l'estomac sont expliqués avec honnêteté. L'autrice, journaliste médicale chevronnée, a aussi recueilli les témoignages de patients sur leur parcours de soins qui rendent ce livre très clair également agréable à lire. Un guide pratique très complet pour toute personne concernée par la maladie. ■ **Pierre Kaldy**

La Vérité sur l'obésité, Hélia Hakimi-Prévot, Robert Laffont, 360 p., 20,90 €

72H POUR DÉCOUVRIR ET PRÉSERVER LES TRÉSORS DE NOTRE PLANÈTE BLEUE

GRAND OCEAN

DU 7 AU 9 OCT. 2022

À LA CITÉ DE LA MER, CHERBOURG-EN-COTENTIN
À SAINT-VAAST-LA-HOUGUE

& EN DIGITAL

www.grandocean-event.com

Partenaires Officiels

CHERBOURG en Cotentin

leCotentin
COMMUNAUTÉ D'AGGLOMÉRATION

NAVAL GROUP

Partenaires Associés

LA MANCHE
LE DÉPARTEMENT

RÉGION NORMANDIE

Partenaires

CMN

EDF

SFA
Agitateur d'eau

Partenaires Médias

NETFLIX

Ushuaïa TV

Organisé par

Les Echos
Le Parisien
ÉVÉNEMENTS

SCIENCES AVENIR
La Recherche

EXPOSITIONS

Amiens (80)

MuséoSciences, trésors scientifiques des musées des Hauts-de-France
Cette exposition dévoile des objets méconnus, rarement montrés ou surprenants, issus d'une vingtaine de musées de la région. Animaux empaillés, objets scientifiques, ou encore la maquette d'une scène de dynamitage dans une mine.
Musée de Picardie, 2, rue Puvis-de-Chavannes, jusqu'au 6 novembre. Rens. : 03.22.97.14.00.

Daoulas (29)

Afrique, les religions de l'extase

Cette exposition est née du constat d'une méconnaissance de la grande diversité des religions pratiquées en Afrique. Le musée d'Ethnographie de Genève a prêté plus de 300 pièces de ses collections, complétées par les travaux de terrains de photographes et vidéastes.
(Lire notre reportage : sciav.fr/907daoulas)
Abbaye Notre-Dame, 21, rue de l'église, jusqu'au 4 décembre. Rens. : 02.98.25.84.39.

Draguignan (83)

Momies, les chemins de l'éternité
Momies égyptiennes, andines, africaines, asiatiques et européennes, animales ou humaines, composent un ensemble original dans un nouveau lieu patrimonial. Certaines des 300 pièces montrées sont inédites.
(Lire notre reportage : sciav.fr/907momies)
Hôtel départemental des expositions du Var, 1, boulevard Maréchal-Foch, jusqu'au 25 septembre. Rens. : 04.83.95.34.08.

Lyon (69)

Secrets de la Terre
Le musée des Confluences met à l'honneur sa collection de minéraux pour raconter l'histoire de leur formation comme celle des sociétés humaines qui les ont utilisés depuis le paléolithique. L'exposition interroge aussi leur exploitation intensive au fil des âges.
Musée des Confluences, 86, quai Perrache, jusqu'au 22 octobre 2023. Rens. : 04.28.38.12.12.

Marseille (13)

Pharaons superstars
Le parcours revient sur 5000 ans d'histoire de l'Égypte antique avec une ambition originale : expliquer pourquoi des rois et reines sont devenus iconiques (Ramsès, Cléopâtre, Néfertiti…) et d'autres sont totalement oubliés (Téti, Sésostris…).
Mucem, 7, promenade Robert-Laffont, jusqu'au 17 octobre. Rens. : 04.84.35.13.13.

Monaco

Mission polaire
Ce parcours place le visiteur dans la peau d'un reporter explorant les pôles Nord et Sud. Cinq espaces thématiques le confrontent aux premiers explorateurs, aux Inuits ou aux enjeux de la recherche.
Musée océanographique, avenue Saint-Martin, jusqu'en 2025. Rens. : +377.93.15.36.00.

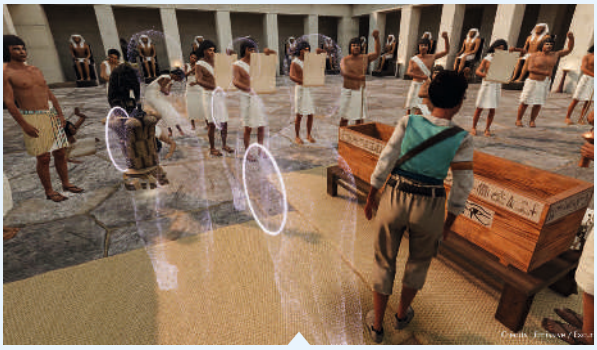
Paris (75)

Marronnage, l'art de briser les chaînes
Des artistes contemporains du Suriname et de Guyane présentent leurs œuvres, au côté d'objets issus de collections ethnographiques, pour raconter l'histoire du marronnage. Ces communautés ont été créées par des esclaves en fuite dans l'Amérique latine, colonisée par les Européens.
(Lire notre reportage : sciav.fr/907marron)
Maison de l'Amérique latine, 217, boulevard Saint-Germain, jusqu'au 24 septembre. Rens. : 01.49.54.75.00.

Paris (75) / Expérience

L'horizon de Kheops, un voyage en Égypte ancienne

Pour visiter la pyramide de Kheops, vous pouvez vous rendre en Égypte… ou au deuxième étage de l'Institut du monde arabe, à Paris, pour y arpenter pendant 45 minutes une salle de 500 m²… vide. Après ScanPyramids VR en 2017, la pyramide de Kheops en réalité virtuelle revient avec « L'horizon de Kheops ». Coiffé d'un visiocasque connecté à un ordinateur rangé dans un sac à dos, le visiteur se retrouve sous une tente sur le plateau de Gizeh. À l'extérieur, une guide l'attend, au pied du tombeau pyramidal du pharaon. L'expérience a été développée par Emissive, déjà à l'œuvre pour ScanPyramids. On entre dans le monument comme cela se fait *in situ*, par le trou ménagé par le calife Al-Mamoun en 820. S'ensuit une plongée dans les entrailles de l'édifice, jusqu'au sommet où se déploie une vue sur toute la nécropole. Quelques astuces narratives et le visiteur, voguant sur le Nil, part assister à la cérémonie funéraire de Kheops. Que vous ayez ou non déjà vu les pyramides d'Égypte, vous ne les verrez jamais ainsi en vrai. ■



EMISSIVE/EXCURIO

Équipé d'un visiocasque, le visiteur explore la pyramide de Gizeh dans une immersion virtuelle de 45 minutes.

(Lire notre reportage : sciav.fr/907kheops)

Arnaud Devillard

Institut du monde arabe, 1, rue des Fossés-Saint-Bernard, jusqu'au 2 octobre. Rens. : 01.40.51.38.38.

Scannez ce QR code et retrouvez toutes les expositions dans notre guide

PAR JOHAN KIEKEN

Où sont les planètes ?

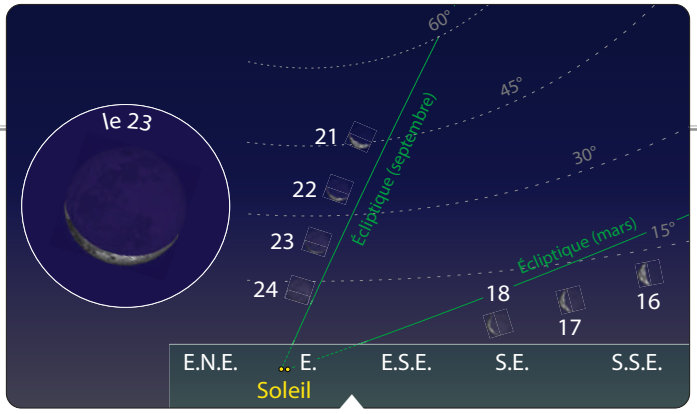
MERCURE
La petite planète passe en conjonction inférieure le 23 et n'est pas observable en septembre en Métropole.

VÉNUS
L'étoile du Berger est marginalement visible au petit matin en début de mois vers le levant. Elle se rapproche au fil des jours de la direction du Soleil pour finalement disparaître dans son éclat en seconde quinzaine.

MARS
La planète Rouge se lève un peu avant minuit. On la trouve très haut dans le ciel vers le sud à l'approche de l'aube. Son éclat va croissant depuis novembre 2021. Sa couleur caramel est désormais aisément perceptible.

JUPITER
La reine des planètes passe à l'opposition le 26 dans la constellation des Poissons. Elle est visible toute la nuit, dans des conditions d'observation optimales. C'est le moment de pointer vers elle une paire de jumelles pour détecter facilement ses quatre principaux satellites, ou un télescope qui vous dévoilera ses bandes nuageuses et sa Grande Tache rouge.

SATURNE
Un mois après son passage à l'opposition, la planète aux anneaux est visible bas vers le sud-est dès la tombée de l'obscurité et une grande partie de la nuit. Elle culmine vers minuit en milieu de mois.



Nous sommes 30 minutes avant le lever du Soleil. La Lune est représentée du 21 au 24 septembre 2022 (écliptique très incliné sur l'horizon) et du 16 au 18 mars 2023 (écliptique peu incliné). Les conditions d'observation diffèrent du tout au tout !

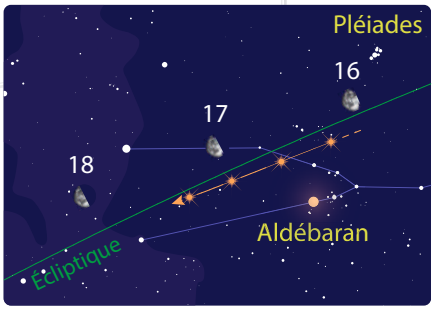
La barque lunaire

LA FIN DE L'ÉTÉ ET LE DÉBUT DE L'AUTOMNE sont très propices à l'observation du dernier croissant de Lune en fin de nuit. En effet, c'est en cette période de l'année que l'écliptique est le plus relevé sur l'horizon oriental sous nos latitudes le matin. De plus, la ligne joignant les cornes de la Lune étant quasi perpendiculaire à l'écliptique, notre satellite se présente alors sous la forme d'une barque, enveloppée d'une belle lumière cendrée.

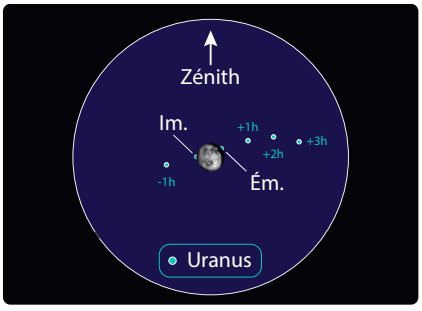
Notre conseil Un horizon est bien dégagé et une paire de jumelles suffiront à votre bonheur !

L'appli du mois

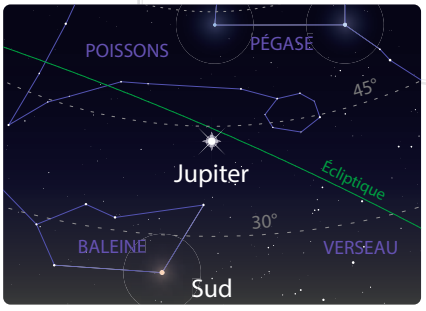
DESCAD est une application payante (1,80 €) en français pour Android. Elle permet de simuler un cadran solaire. En fonction de l'orientation de votre écran, elle dessine en temps réel toutes les lignes horaires et reproduit l'ombre du style suivant l'heure et la date.



MARS, DONT LA POSITION EST INDIQUÉE TOUS LES 10 JOURS, traverse le Taureau ce mois et passe près de l'étoile Aldébaran vers le 9. La Lune se joint au duo les 16 et 17.



DANS LA NUIT DU 14 AU 15, LA PLANÈTE URANUS SERA OCCULTÉE PAR LA LUNE. L'immersion (Im.) aura lieu vers 23h15 et l'émersion (Ém.) vers 0h15. À suivre aux jumelles.



VERS 2 H DU MATIN, JUPITER ÉTINCELLE VERS LE SUD À MI-HAUTEUR DANS LE CIEL. Par son éclat, elle domine les autres astres et ne peut être confondue avec une étoile.

Scannez ce QR code pour découvrir la carte du ciel de septembre

Christophe Cassou, directeur de recherche au CNRS, auteur principal du 6e rapport du Giec (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), groupe 1.

Céline Guivarch, directrice de recherche à l'École des ponts, auteure principale du 6e rapport du Giec, groupe 3.

A. BILLET / UNIVERSCIENCE

CLIMAT PAR CHRISTOPHE CASSOU ET CÉLINE GUIVARCH

2022 nous fait toucher les limites de l'adaptation

Les niveaux d'alerte ont tous viré au rouge en cet été 2022 sur l'Europe. Canicules successives avec des valeurs extrêmes impossibles sans l'influence humaine sur le climat, sécheresse record sur la France conduisant à réduire l'accès à l'eau aux usagers prioritaires. Les rendements agricoles s'effondrent et les forêts brûlent. Dans certains territoires particulièrement touchés, les mesures d'urgence ne suffisent pas et l'eau du robinet ne coule plus. Nous entrons dans le monde des pénuries des ressources essentielles et dans l'émergence des risques en cascade. L'eau cristallise l'ensemble des enjeux. Celle délestée des barrages montagneux pour maintenir les niveaux d'étiage des rivières ne sera pas là cet hiver pour l'électricité, alors que les tensions sur la production sont considérables. Celle qui aura manqué pour l'agriculture sera responsable de l'inflation des prix de certaines denrées alimentaires, touchant de manière disproportionnée les ménages les plus pauvres. La sécheresse aura fragilisé les forêts pour des décennies, réduisant les services écosystémiques qu'elles nous rendent, comme le stockage de carbone ou les îlots de fraîcheur. Comment imaginer ou laisser croire à une adaptation possible à des niveaux de réchauffement plus élevés, alors que nous touchons dès aujourd'hui certaines limites de l'adaptation et que cet été est tout simplement un avant-goût du climat « normal » vers 2050 si l'on suit les politiques publiques actuelles ? ■

Directrice de recherche au CNRS, Institut de recherche en informatique fondamentale (CNRS/université Paris Cité).

CLAIRE MATHIEU

MATHÉMATIQUES PAR CLAIRE MATHIEU

Pour des conférences de proximité

En informatique, la carrière se construit à partir d'articles publiés dans des conférences internationales réputées, où des centaines de personnes viennent discuter, écouter les exposés et lire les articles correspondants. Les avantages ? Plutôt que de fouiller dans une multitude de publications, on a accès à quelques dizaines d'articles présélectionnés, et on se fait une idée des avancées notables dans des domaines connexes au sien ; avec un bon article, un jeune chercheur peut d'un coup rencontrer les collègues intéressés et se faire connaître ; les discussions informelles construisent la communauté, guident la réflexion et mènent à des collaborations ; le voyage hors du cadre habituel offre quelques jours centrés uniquement sur la recherche. Mais les inconvénients sont aussi nombreux : le coût environnemental (voyages en avion), l'inaccessibilité pour les chercheurs de pays moins riches, le temps consacré à l'organisation, le coût sanitaire (brassages de virus), etc. Que faire alors ? Une organisation systématique en mode hybride ou virtuel ? Une proposition meilleure serait de partitionner chaque conférence internationale en plusieurs conférences de proximité qui auraient lieu en simultané, les participants d'une même région se retrouvant en un même lieu accessible par le train, ces lieux étant interconnectés. Ceci préserverait la plupart des avantages tout en évitant ou en diminuant les inconvénients. ■

ÉTHIQUE PAR JEAN-GABRIEL GANASCIA

Pourquoi rendre désirable la réalisation d'utopies négatives ?

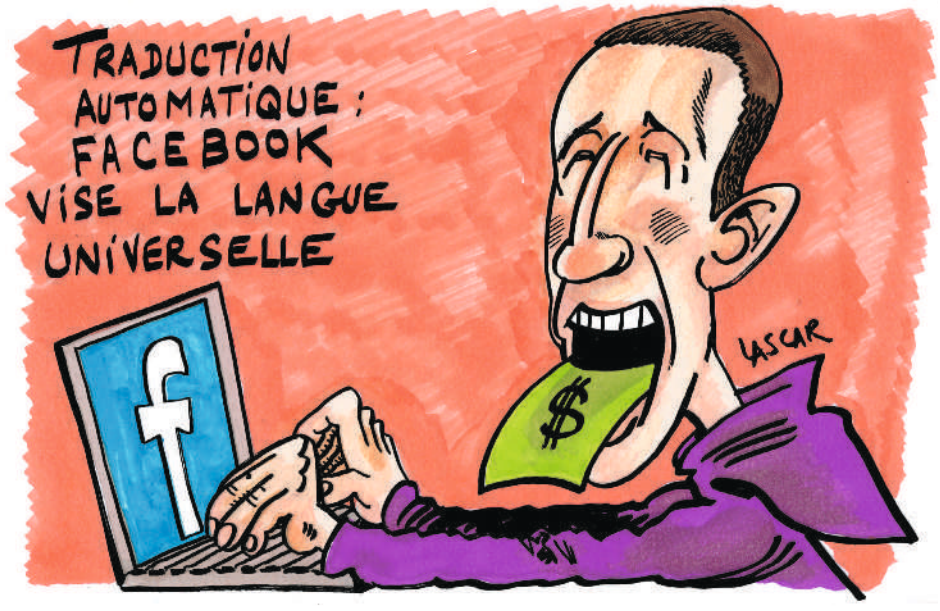
Professeur à Sorbonne Université, à Paris, chercheur en intelligence artificielle au LIP6 (Sorbonne Université, CNRS), ex-président du comité d'éthique du CNRS. Dernier ouvrage publié : *Servitudes virtuelles*, Seuil, 2022.

Depuis qu'en octobre 2021, Mark Zuckerberg a décidé de changer le nom de la société Facebook en « Meta » — en référence au métavers qu'il souhaite bâtir —, le mot a acquis une grande popularité. Pourtant ce néologisme, forgé en 1992 par Neal Stephenson dans le roman *Snow Crash*, est relativement ancien. Et le principe d'une telle simulation, décrit en 1964 dans *Simulacron 3* de Daniel Galouye, l'est plus encore. Les premières tentatives d'univers virtuels sont elles aussi datées. Second Life, où l'on peut se promener à loisir et se présenter aux autres au moyen d'avatars, à savoir d'êtres numériques que l'on compose, que l'on coiffe et que l'on habille à son goût, date de 2003, ce qui fera bientôt vingt ans. De fait, il existe déjà bien des applications industrielles de métavers immersifs construites avec les techniques de réalité virtuelle. Citons par exemple le domaine des jeux vidéo ; citons aussi ce que l'on appelle les « jeux sérieux », avec de nombreuses utilisations dans le secteur du marketing ou de la formation. Enfin, les simulations sont essentielles dans le domaine aéronautique, où elles concourent à la formation des pilotes et des opérateurs.

Le regain d'intérêt actuel n'est donc pas lié à la nouveauté du concept mais aux progrès techniques qui permettraient de le systématiser, en particulier au perfectionnement des technologies qui sous-tendent les réalités virtuelles.

Mais, bizarrement, dans les œuvres de science-fiction où il a été introduit, le métavers se présente surtout comme une utopie négative. Parfois, c'est une sorte de drogue qui aide à échapper à une détestable réalité. D'autre fois, lorsqu'on s'y transporte en esprit, on est conduit à douter de sa propre existence en craignant d'être soi-même le jouet de malins génies tout-puissants dans un grand métavers cosmique. Dès lors, il apparaît étonnant qu'on nous propose comme futur désirable une dystopie effrayante qui se présente davantage comme un cauchemar que comme un rêve… ■

BRUNO LÉVY



L'ŒIL DE LASCAR

En traduction de textes automatisée, Facebook — désormais Meta — mène la danse. Le géant des réseaux sociaux (qui possède aussi Instagram et WhatsApp) a mis au point un programme d'intelligence artificielle prenant en charge la traduction de 200 langues. C'est le double du précédent record, détenu par un algorithme de Microsoft. Si le programme est en accès libre — n'importe quel acteur peut s'en emparer —, l'entreprise créée par Mark Zuckerberg a un intérêt immédiat à développer ce type de service, Facebook réalisant quotidiennement près de 20 milliards de traductions sur son fil d'actualité. **O. L.**

QUESTIONS DE LECTEURS

Sur notre site **sciencesetavenir.fr,** la rédaction répond à des questions scientifiques posées par nos lecteurs sur notre page **Facebook.** En voici une sélection.

NEUROSCIENCES

Comment naissent nos idées dans le cerveau ?

Cyndie B.

Eurêka ! Les idées naissent dans l'hémisphère droit de notre cerveau. Plus précisément dans le gyrus temporal supérieur droit, une zone connue pour s'activer lors d'associations entre différentes informations données. Quand une idée fuse, cette région émet des ondes gamma, observées habituellement en phases créatives et d'apprentissage. Un pic d'ondes gamma survient 300 millisecondes avant qu'un individu ne trouve une idée. De façon moins attendue, se produit aussi un pic d'ondes alpha, phénomène observé en méditation par exemple. ■

Lise Loumé @Lise_Loume

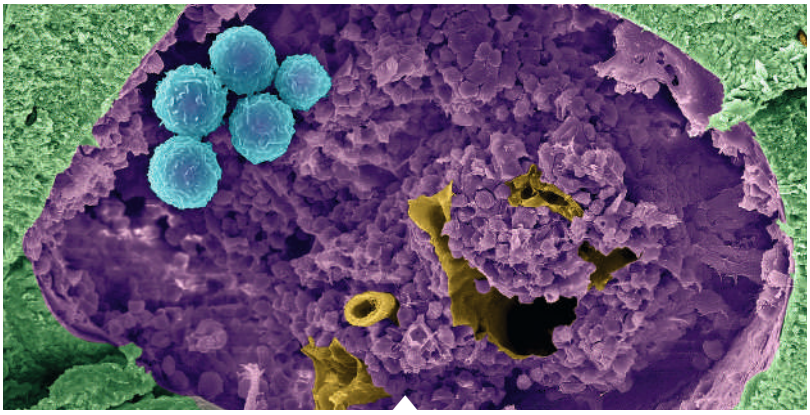
MÉTÉOROLOGIE

Quel est le record du plus gros grêlon ?

Jean-Christophe S.

Vingt-trois centimètres : c'est la taille du plus gros grêlon enregistré sur Terre. Soit celle d'un ballon de volley ! Tombé le 8 février 2018 dans Villa Carlos Paz (Argentine), il a été repéré sur une vidéo par Matthew Kumjian, chercheur à l'université d'État de Pennsylvanie (États-Unis), grâce à une analyse photogrammétrique. *« Cet événement est lié à un orage supercellulaire, caractérisé par un puissant courant ascendant qui tourne en spirale,* explique-t-il. *La glace reste longtemps dans le tourbillon et accumule de la masse en agglomérant des petites gouttes congelées, d'où la formation de ces grêlons gigantesques. »* ■

Loïc Chauveau @Loic_Chauveau



DENNIS KUNKEL MICROSCOPY/SCIENCE PHOTO LIBRARY

Les cellules souches hématopoïétiques (en bleu, grossies au microscope) de la moelle osseuse donnent naissance aux précieuses cellules sanguines.

HÉMATOLOGIE

En quoi consiste le don de moelle osseuse ?

Pit F.

La moelle osseuse se trouve dans l'ensemble du squelette, et plus particulièrement au niveau des os plats, comme ceux du bassin. À l'intérieur sont produites des cellules souches dites hématopoïétiques, qui évoluent ensuite en globules rouges, globules blancs et plaquettes. De nombreux patients, atteints par exemple de cancer, ont une moelle osseuse déficiente et ont besoin d'une greffe. Selon l'Agence de biomédecine, toutes les régions françaises manquent de donneurs. Pour devenir l'un d'entre eux, il faut avoir entre 18 et 35 ans et être en bonne santé. Le don de moelle osseuse se fait majoritairement par prélèvement sanguin. Quelques jours auparavant, le donneur reçoit un médicament appelé G-CSF qui sert à stimuler la production des cellules de la moelle osseuse et à les faire passer des os vers le sang. Une fois les précieuses cellules produites, il suffit généralement de procéder à un prélèvement sanguin appelé cytaphérèse : le donneur est relié à une machine de prélèvement qui filtre son sang pour ne retenir que les cellules de la moelle osseuse. Cependant, dans 20 % des cas et selon le type de cellules recherchées, il faut récolter la moelle osseuse directement dans l'os du bassin, lors d'une intervention sous anesthésie générale. Reste le problème de la compatibilité : il n'y a qu'une chance sur un million en moyenne qu'un donneur soit compatible avec l'un de ces patients quelque part dans le monde. Aussi le médecin cherche toujours en premier lieu parmi la fratrie du malade, car les chances de compatibilité sont augmentées alors à une sur quatre. À défaut, il se tournera vers le registre national des donneurs volontaires, qui est connecté à ses équivalents étrangers. ■

Camille Gaubert

@CamilleGaubertb

Solutions des jeux parus dans « Sciences et Avenir-La Recherche » n° 905/906, juillet/août 2022

Doubles inconnues
Voici une disposition possible :

44 x 77 = 3388

Impertinuances
Chaque couleur porte les lettres d'une autre couleur (VERT, ÉCARLATE, BLANC, GRIS, ROUGE, BEIGE, CHOCOLAT, ORANGE, BLEU, JAUNE). Seul le mot VIOLET se trouve sur les cases en violet.

Science cachée
ASTRONOMIE :
Les lettres exactement doublées dans la suite de mots.

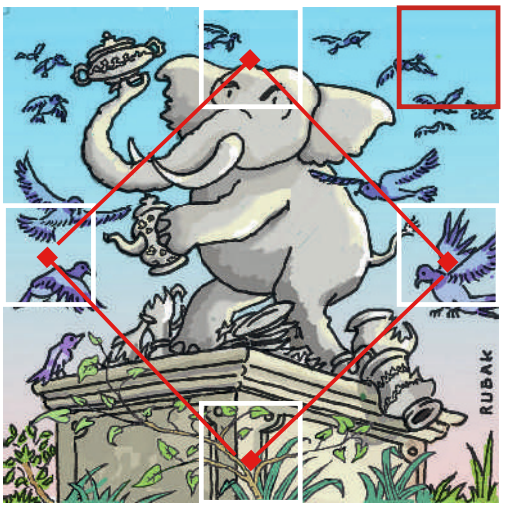
Bris de porcelaine
Quatre morceaux proviennent d'un carré régulier sur le dessin. La pièce 3 n'en fait pas partie.

Une suite naturelle
0 car les initiales des chiffres, qui sont dans l'ordre alphabétique

C H Q S T U

ne peuvent être suivies que par le Z de zéro.

Anagramme
Tel qui rit vendredi dimanche pleurera.



Une formidable diversité
11 fois par an, l'actualité des savoirs pour tous

N° 898
Découverte d'un continent englouti

N° 899
Les 10 découvertes de l'année 2021

N° 900
Gravitation : la théorie qui dépasse Einstein

N° 901
Le nucléaire peut-il être propre ?

N° 902 Quantique, la révolution du XXIe siècle

N° 903
Les arbres, gardiens de la Terre

N° 904 Les aliments qui augmentent l'espérance de vie

N° 905/906
Pourquoi ?
Dossier spécial

Bon de commande

Je commande les numéros ci-après au prix de : 7 € par numéro payable par chèque à l'ordre de *Sciences et Avenir* (port compris pour la France). Bon de commande à retourner à :

Sciences et Avenir
service des abonnements
45 av. du Général-Leclerc 60643 Chantilly Cedex

❑ N° 898 ❑ N° 899 ❑ N° 900 ❑ N° 901
❑ N° 902 ❑ N° 903 ❑ N° 904 ❑ N° 905/906

Nom : .....
Adresse : .....
..... Ville : .....
Code postal : .....

PAR PIERRE BERLOQUIN

Énigmes, logique et mathématiques

Retrouvez chaque mois des problèmes ludiques pour solliciter votre curiosité. Solutions dans le prochain numéro.

Liste proverbiale

Un proverbe est logiquement caché dans cette liste

AUTOSTOP
ÉRAFLER
ESTANCIA
VÉRANDA
RENVOYÉE
FRICHTI
LYONNAIS
PLUVIER
ŒILLARD
ICEBERG
UVULAIRE

Aptonymes

Messieurs Teinturier, Échevin et Diamantaire exercent les professions de teinturier, échevin et diamantaire. Ils habitent rue des Teinturiers, boulevard de l'Échevin et rue des Diamantaires.

Tous ont une profession et une adresse différentes de leur nom.

Sachant que l'échevin habite rue des Teinturiers et M. Teinturier boulevard de l'Échevin, pouvez-vous dire qui habite où et qui fait quoi ?

Furtif intrus

Un intrus très subtil s'est glissé dans la liste. Quel est-il et pourquoi ?

17, 43, 59, 71, 127, 163

Matoku 8x8

Dans ce carré, chaque ligne et chaque colonne comprennent une seule fois les nombres de 1 à 8. Les nombres en coin donnent le résultat de l'opérateur sur la zone de même couleur.

Les opérateurs sont, outre +, -, x, /, S pour suite et M pour moyenne arithmétique. Sans opérateur, c'est le nombre lui-même.

5M		18+				24+	
15+			6-				
	21+		6M		5		18x
		60x					
				22+		2/	
15+					10+		
20+	S				16+		
					5M		

Affrontement de pédaliers

Timothée et Gabrielle reviennent d'une balade à vélo. Ils arrivent dans le jardin en même temps mais Gabrielle roule beaucoup plus vite que lui. Timothée remarque qu'il fait 13 tours de pédalier avant que Gabrielle n'arrive au bas du perron, et qu'il doit en faire 26 supplémentaires pour arriver, lui aussi, au perron. Son compteur marque une vitesse constante de 10 km/h. À quelle vitesse Gabrielle roule-t-elle ?

Énigmes Créalude, Pierre Berloquin, Jean-Thierry Garrigues

LE 25 NOVEMBRE 2022

SIÈGE DE LA RÉGION DE STRASBOURG
ET EN DIGITAL

1 Place Adrien Zeller
67000 Strasbourg

Accueil dès 9h30

SANTÉ GLOBALE 1ÈRE ÉDITION

LE NOUVEAU DÉFI

LES RENCONTRES DU GRAND EST

Pour plus d'information :
lesrencontressanteglobale.fr

Partenaire officiel

Sous le patronage de

Partenaire

Organisé par

Avec

Coordonné par

HURTIGRUTEN EXPEDITIONS

Découvrez nos Croisières d'Expédition sur **hurtigruten.fr**

LAISSEZ-NOUS VOUS ÉTONNER

Économisez jusqu'à 500€ en réservant avant le 30.09

Antarctique, Spitzberg, Groenland ou Galápagos… retrouvez le goût de l'aventure dans des contrées mythiques.

Embarquer pour une croisière d'expédition, c'est comme réaliser un rêve… C'est s'émerveiller face à la puissance de la nature. C'est vivre d'authentiques rencontres. Enrichir ses connaissances au côté de passionnants experts. C'est apprendre à discerner la toute fragilité de la faune pour mieux la préserver. Et s'abandonner au confort chaleureux et informel du navire.

Embarquer pour une croisière d'expédition, c'est laisser place à l'étonnement, encore et encore.

Croisière en Antarctique

Partez à la découverte de l'ultime continent vierge, de ses paysages immaculés, de ses icebergs et de ses colonies de manchots.

Réservez dès maintenant pour l'hiver 2023/24.

JUSQU'À **-500€**

Réservez au 01.86.26.04.19

Offre soumise à conditions, non rétroactive et non cumulable, valable sur le tarif du jour pour toute nouvelle réservation avant le 30 septembre 2022, d'une croisière d'expédition en Antarctique, pour un départ entre octobre 2023 et mars 2024. La réduction varie selon l'itinéraire et la date de départ. HURTIGRUTEN SAS au capital de 40.000 € - RCS PARIS B 449 035 005 - IM075100037 – APST RCAPST HISCOX/125 520